TEMPERATURBESTIMMUNGEN IM METALLBOGEN.

INAUGURAL-DISSERTATION
ZUR
ERLANGUNG DER PHILOSOPHISCHEN DOKTORWÜRDE
VORGELEGT DER
HOHEN PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT
DER
UNIVERSITÄT BASEL
VON

KARL LANGBEIN
AUS BASEL

BASEL
BUCHDRUCKEREI ZUM HIRZEN A.-G.
1918.

TEMPERATURBESTIMMUNGEN
IM
METALLBOGEN.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER PHILOSOPHISCHEN DOKTORWÜRDE

VORGELEGT DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT

DER

UNIVERSITÄT BASEL

VON

KARL LANGBEIN

AUS BASEL.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

BASEL
BUCHDRUCKEREI ZUM HIRZEN A.-G.
1918.

Genehmigt von der mathematisch-naturwissenschaftlichen Abteilung der philosophischen Fakultät auf Antrag der Herren Professoren Dr. A. Hagenbach und Dr. H. Veillon.

Basel, den 28. Oktober 1918.

Prof. Dr. **A. L. Bernoulli**
Dekan.

Meiner lieben Mutter in Dankbarkeit
gewidmet.

Temperaturbestimmungen im Metallbogen.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547001_0136

1. Einleitung.

Während über die Temperatur der Strombasis des Kohlebogens eine ganze Reihe von Messungen nach verschiedenen Methoden vorliegen[1]), so ist der Metallbogen in dieser Hinsicht noch gar nie systematisch untersucht worden.

Es ist nachgewiesen, dass eine heisse, weissglühende Kathode die Grundbedingung für die Existenz des Bogens ist. Zu diesem Resultat führt auch die Jonentheorie des Bogens, aus der zudem folgt, dass die Temperatur der Anode beliebig niedrig sein kann. Eine Beobachtung von *Stark*[2]) scheint zur Annahme zu zwingen, dass — wenigstens beim Quecksilberbogen im Vacuum — die Temperatur der Kathode viel heisser sein müsse als die Siedetemperatur des Quecksilbers im Vacuum. Erlaubt man sich für den Moment, auf Grund dieser vereinzelten, qualitativen Versuche und der Jonentheorie ein gewisses Bild über die Temperaturverhältnisse im Metallbogen zu machen, so hat man sich vorzustellen, dass die Temperatur der Bogenansatzstelle an der Kathode enorm heiss sein muss, während sie an der Anode jeden beliebigen Wert haben kann.

Nach den neuesten Untersuchungen von *O. Lummer*[3]) kann man sich auch fragen, ob nicht die Temperaturverhältnisse am Metallbogen denjenigen des Kohlebogens analog sind? Versuchsresultate von *G. P. Luckey*[4]) würden einer solchen Annahme nicht widersprechen. *Luckey* lässt den Wolframlichtbogen in einer Stick-

[1]) Eine Zusammenstellung der Temperaturmessungen im Kohlebogen findet sich bei **A. Hagenbach,** „Der Lichtbogen". Handbuch der Radiologie. Bd. IV. p. 387.

[2]) **J. Stark,** Phys. Zeitschr. 5. p. 750. 1904.

[3]) **O. Lummer,** „Verflüssigung der Kohle und Herstellung der Sonnentemperatur." Sammlung Vieweg. Heft $^{9}/_{10}$.

[4]) **G. P. Luckey,** Electrician. 77. p. 947. 1916.

stoffatmosphäre brennen und bestimmt mit einem *Holborn-Kurlbaum*'schen Pyrometer die Temperatur des an der Elektrode schmelzenden Wolframs. Dabei beobachtet er, dass an derjenigen Elektrodenstelle, wo der Bogen gerade anbeisst, eine viel höhere Temperatur herrscht als in der Umgebung und er vermutet, dass sich hier das Wolfram bis zur Siedetemperatur erhitzt. Merkwürdig ist, dass er nicht angibt, an welcher Elektrode und bei welcher Betriebsspannung er gemessen hat. Vielleicht beziehen sich seine Versuche auf den Wechselstrombogen?

Soviel weiss man heute über die Temperatur des Metallbogens. Es darf daher berechtigt erscheinen, einmal Temperaturbestimmungen an positiver und negativer Elektrode verschiedener Metallbogen bei Atmosphärendruck anzustellen.

2. Methode.

Zur Bestimmung der wahren Temperatur wurde die Methode der logarithmischen Isochromaten verwendet.

Sie baut sich auf dem *Wien*'schen Gesetze auf, das die Energieverteilung im Spektrum des absolut schwarzen Körpers angibt, solange das Produkt $\lambda T < 3000$ ist. Betrachtet man in der Formel

$$E_\lambda = c_1 \lambda^{-5} e^{-\frac{c_2}{\lambda T}}$$

die Energie (Intensität) als Funktion der absoluten Temperatur bei der gegebenen Wellenlänge, so stellt

$$\lg E_\lambda = \gamma - \gamma_1 \frac{1}{T}$$

eine Gerade, die „isochromatische Gerade", oder die „logarithmische Isochromate" dar. γ und γ_1 sind zwei Konstante. Bildet man

$$\lg \left(\frac{E_2}{E_1}\right) = \gamma_1 \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)$$

bei der gegebenen Wellenlänge, so kann man die Temperatur T_2 eines zweiten Strahlers berechnen, wenn man T_1 und das Verhältnis $\frac{E_2}{E_1}$ kennt.

Die Verwendung dieser letzten Gleichung zu spektralphotometrischen Temperaturbestimmungen beruht nun darauf, dass im

sichtbaren Teil der Strahlung für eine bestimmte Wellenlänge ein Energieverhältnis identisch ist mit dem Helligkeitsverhältnis.

Nimmt man die logarithmischen Isochromaten am schwarzen Körper mit einem Spektralphotometer für verschiedene Wellenlängen ein für allemal auf, so kann man nachher mit diesem Instrument durch eine einzige photometrische Einstellung die Temperaturbestimmung einer Lichtquelle vornehmen. Dazu hat man nur nötig, die Helligkeit der zu untersuchenden Lichtquelle bei einer Wellenlänge zu bestimmen und den Logarithmus dieser Energie als Ordinate in die zur Wellenlänge gehörende Isochromate der schwarzen Strahlung einzuordnen; dann findet man aus der zugehörigen Abzisse die „schwarze" Temperatur der Lichtquelle. So hat zuerst *Wanner*[1]) Temperaturmessungen ausgeführt. *Lummer* und *Pringsheim*[2]) machen die Beobachtung, dass die — unter Umständen verlängerten — schwarzen logarithmischen Isochromaten verschiedener Wellenlängen sich in einem Punkte schneiden. Sie erkennen die Bedeutung eines solchen Schnittpunktes als wahre reciproke Temperatur des konstanten Strahlers und geben an, dass sich damit eine neue Methode zur Temperaturbestimmung ergibt, die es ermöglicht, „wahre" Temperaturen von Lichtquellen anzugeben. Bestimmungen von wahren Temperaturen an festen, strahlenden Körpern sind von *E. Benedict*[3]) gemacht worden. Nach der Theorie erhält man bei selektiv strahlenden Lichtquellen im allgemeinen von je zwei Isochromaten einen Schnittpunkt, während bei schwarzen oder grauen Strahlern von allen Isochromaten ein Schnittpunkt erhalten wird. Umgekehrt darf man nicht, wie *E. P. Hyde*[4]) und *Cl. Schaefer*[5]) zeigen, aus dem Vorhandensein eines Schnittpunktes auf eine schwarze, oder graue Strahlung des untersuchten Körpers schliessen, da es möglich ist, dass der selektive Charakter einer Lichtquelle derart ist, dass ein schwarzer oder grauer Körper bei einer gewissen Temperatur die nämliche Energieverteilung im sichtbaren Spektrum besitzt wie der untersuchte Körper. Infolgedessen gibt dann die Schnittpunktstemperatur nicht die wahre Temperatur an.

[1]) **F. Paschen** und **H. Wanner,** Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. z. Berlin (2). **108.** p. 5. 1899.
H. Wanner, Ann. d. Phys. **2.** p. 141. 1900.
[2]) **O. Lummer** und **E. Pringsheim,** Verh. d. Deutsch. Phys. Ges. **3.** p. 36. 1901.
[3]) **E. Benedict,** Ann. d. Phys. **47.** p. 641. 1915.
[4]) **E. P. Hyde,** Ann. d. Phys. **49.** p. 144. 1916.
[5]) **Cl. Schaefer,** Ann. d. Phys. **50.** p. 841. 1916.

Die wahre Temperatur erhält man immer, wenn man die aufgenommenen Isochromaten „auf Grauheit korrigiert“ und nachher die aus der Abszisse des Schnittpunkts folgende Temperatur abliest.

Für meine Messungen wurde die graphische Methode der logarithmischen Isochromaten angewendet. Aus den verschiedenen Schnittpunkstemperaturen je zweier Isochromaten gebe ich eine mittlere Temperatur als wahre Temperatur der untersuchten Vergleichslichtquelle an. Die wahre Schnittpunktstemperatur liess sich nicht aus den verschiedenen Schnittpunkten der Isochromaten durch das theoretisch einzig richtige Verfahren der Korrektion der Isochromaten auf Grauheit ermitteln, da die Absorptionsvermögen für die Verhältnisse am Metallbogen unbekannt sind und für jeden Fall, zugleich mit der Temperaturmesssung bestimmt werden müssten. Denn es ist klar, dass die verschiedenen Schnittpunkte der Isochromaten durch Verwendung unrichtiger oder ungenauer Absorptionsvermögen bei der Korrektion auf Grauheit nicht in einen Schnittpunkt zusammenschmelzen, sondern nach der Korrektion unter Umständen noch weiter auseinanderliegen als vorher. Auch besteht schon in der Lage der an den Metallbogen aufgenommenen logarithmischen Isochromaten, wie sich aus den Messungen ergibt, infolge der Versuchsfehler eine gewisse Unsicherheit, so dass man auch nach einer eventuellen Korrektion auf Grauheit, die im allgemeinen relativ klein ausfallen dürfte, kaum einen sicherern Wert für die wahre Temperatur erhalten hätte als dies durch die direkte Bildung eines Mittelwerts der verschiedenen Schnittpunktstemperaturen geschah.

3. Versuchsanordnung.

Die Versuchsanordnung, die nachher für die Temperaturbestimmungen am Metallbogen diente, war die gleiche wie diejenige, welche *E. Benedict*[1]) verwendet hat. Nur benutzte ich für die Messungen ein *König-Martens*'sches Spektralphotometer neuester Konstruktion[2]). Das Licht gelangte von den seitlich stehenden Lichtquellen auf zwei Mattscheiben, dann durch zwei totalreflectierende Prismen, die am Photometer drehbar befestigt sind, und

[1]) **E. Benedict,** l. c. p. 644. u. p. 654.
[2]) **A. König,** Ann. d. Phys. **53.** p. 785. 1894.
F. F. Martens, Verh. d. Deutsch. Phys. Ges. **1.** p. 280. 1899.
F. F. Martens u. F. Grünbaum, Ann. d. Phys. **12.** p. 984. 1903.

durch einen Bilateralspalt in das Kollimatorrohr. Die Wellenlänge des aus dem Ocularspalt austretenden Lichts wird durch Drehung des Beobachtungsfernrohres mit einer Mikrometerschraube geändert. Die Zahl der ganzen Umdrehungen dieser Schraube (Schraubenhöhen) sind an einer Skala, die Bruchteile derselben am Umfang der geteilten Trommel abzulesen. Die Schraubenhöhe beträgt 0,5 mm. Die Trommel ist noch in 100 Teile geteilt; weiter lassen sich 0,2 Teile sicher schätzen, so dass die Ablesgenauigkeit $^1/_{1000}$ mm beträgt. Durch Drehen des Ocularnicols werden die Vergleichsfelder im Photometer auf gleiche Helligkeit eingestellt. Dann gilt bei der Wellenlänge λ die Beziehung

$$\frac{H_1}{H_2} = tg^2\varphi = E_\lambda \qquad 1.)$$

wenn H_1 und H_2 die von den beiden Lichtquellen L_1 und L_2 auf den Mattscheiben erzeugten Helligkeiten bedeuten und φ den Winkel, um den man den Analysator aus der Nullstellung drehen muss, bis die Vergleichsfelder gleich hell sind. Mit Hilfe einer Lupe kann man den Winkel φ an dem Teilkreis auf 0,2 Grade sicher ablesen. Die Breite des Bilateralspaltes betrug nie mehr als 0,04 mm; meistens 0,02—0,03 mm. Der Ocularspalt des Beobachtungsfernrohres war nie breiter als 0,2 mm. Der Durchmesser der Blende auf der einen Mattscheibe, die nur den hellsten Fleck der zu untersuchenden Bogenelektrode im Photometer zur Wirkung gelangen liess, war 3 mm; er war gross genug, dass das halbkreisförmige Gesichtsfeld im Apparat noch gleichmässig erleuchtet wurde. Die betreffende Bogenelektrode wurde durch eine stark vergrössernde Objektivlinse auf diese Mattscheibe projiciert. Die Stellungen der beiden Elektroden zueinander wurden so gewählt, dass es möglich wurde, die Bogenansatzstelle an der einen Elektrode zu projicieren.

Zur Aufnahme der logarithmischen Isochromaten dienten mit einer Ausnahme bei allen Messungen Kohlenfadenglühlampen mit unpräpariertem Kohlenfaden. Einmal fand eine Lampe mit präpariertem Faden Verwendung. Die Lampen hatten Röhrenform und der Faden war ein einfacher Bügelfaden, der in einer Ebene lag. Die Lampen sind von der Schweizerischen Glühlampenfabrik Zug hergestellt worden. Die Temperaturbestimmungen sind somit alle an grauen logarithmischen Isochromaten gemacht. Als Vergleichslichtquelle diente diejenige Bogenelektrode, deren Temperatur bestimmt werden sollte.

4. Vorversuche.

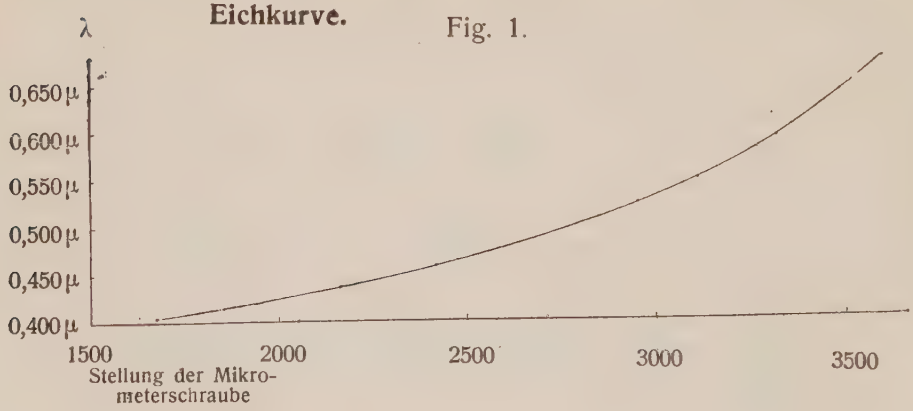
Bevor ich zu den Temperaturbestimmungen am Metallbogen übergehe, muss ich hier einige Vorversuche mitteilen, die mir für die eigentlichen Messungen unerlässlich schienen.

Eichung der Mikrometerschraube am Spektralphotometer in Wellenlängen.

Um angeben zu können, bei welchen Wellenlängen die Isochromaten aufgenommen werden, war es nötig, die Stellungen der Mikrometerschraube am Beobachtungsfernrohr des Spektralphotometers in Wellenlängen zu eichen.

Zu diesem Zwecke wurden — bei möglichst engem Bilateral- und Ocularspalt — in einiger Entfernung vor dem Bilateralspalt des Photometers Lichtquellen aufgestellt, die leicht auffindbare, womöglich einige einzelstehende Spektrallinien emittieren. Dazu dienten die Natrium- und Lithiumflamme, das Bogenlicht des Messing-, Quecksilber- und Kupferlichtbogens. Der Bogen wurde dabei auf den Spalt projiciert. Das Ocularnicol wurde auf O^0 d. h. auf maximale Helligkeit eines Vergleichsfeldes gestellt und das Beobachtungsfernrohr mit Hilfe der Mikrometerschraube durch den gewünschten Spektralbezirk gedreht, bis das erleuchtete Gesichtsfeld am hellsten erschien. Die Stellung der Mikrometerschraube wurde notiert und aus 30 Ablesungen das Mittel genommen. Für 9 Wellenlängen wurde dieses Verfahren wiederholt. Die zusammengehörigen Werte der Mikrometerschraubenstellungen und Wellenlängen sind in Figur 1 graphisch dargestellt. Durch Interpolation

Eichkurve. Fig. 1.



findet man die zu einer Schraubenstellung gehörende Wellenlänge; aus der Figur 1 erkennt man auch, welche Spektrallinien zur Eichung gedient haben.

Untersuchungen über die Strahlung und Temperatur von Kohlenfadenglühlampen.

Bei allen optischen Pyrometern, deren Grundlage die *Wien*'sche Spektralgleichung bildet, ist es nötig, dass man die Temperatur einer Lichtquelle kennt, wenn man durch photometrischen Vergleich die Temperatur einer zweiten Lichtquelle bestimmen will. Zur Aufnahme der Isochromaten muss ich also die Temperatur der Kohlenfadenlampe für jeden Glühzustand kennen.

Lummer[1]) hat das Gesetz der integralen Strahlung von Kohle aufgefunden und zeigt, dass man die wahre absolute Temperatur eines glühenden Kohlenfadens berechnen kann nach der Formel

$$0{,}2388 \,.\, I \,.\, V = \mu \,.\, F \,.\, T^4 \qquad 2.)$$

wo I die Stromstärke in Ampère, V die Spannung in Volt an den Enden des glühenden Fadens, μ eine Konstante, F die gesamte Oberfläche des im Vacuum leuchtenden Fadens und T die wahre absolute Temperatur bedeutet. Für μ findet er

$$\mu = 0{,}725 \,.\, 10^{-12} \frac{\text{g} - \text{Kal.}}{\text{cm}^2 \text{ sec grad}^4}$$

Neuerdings macht *H. Kohn*[2]) darauf aufmerksam, dass das μ für unpräparierte und für präparierte Kohle verschieden ist; nämlich für

$$\text{unpräparierte Kohle: } \mu_0 = 1{,}060 \,.\, 10^{-12} \frac{\text{g} - \text{Kal.}}{\text{cm}^2 \text{ sec grad}^4}$$

$$\text{präparierte Kohle: } \mu_1 = 0{,}725 \,.\, 10^{-12} \frac{\text{g} - \text{Kal.}}{\text{cm}^2 \text{ sec grad}^4}$$

Streng gelten diese Werte nur für die Lampen, an denen sie gerade bestimmt worden sind. Es hat sich gezeigt, dass die von verschiedenen Fabriken bezogenen Fäden in dieser Hinsicht verschieden sind.

---

[1]) **O. Lummer**, l. c. p. 44.
[2]) **H. Kohn**, Ann. d. Phys. **53**. p. 333. 1917.

Um also die Temperatur der Kohlenfadenlampe für die verschiedenen Glühzustände nach der Formel 2.) berechnen zu können, musste zuerst das μ für die Lampen bestimmt werden, mit denen ich die grauen logarithmischen Isochromaten aufnehmen wollte.

Aus der Arbeit von *H. Kohn*[1]) folgt, dass die Watt/HK$_{hor.}$-Temperaturkurve für den präparierten und den unpräparierten Kohlenfaden innerhalb der Versuchsfehler die gleiche ist. Photometriert man nun mit einem *Lummer-Brodhun*'schen Kontrastphotometer eine Kohlenfadenlampe für verschiedene Glühzustände aus, indem man jedesmal die zugehörigen Watt misst, so kann man aus dieser Watt/HK$_{hor.}$-Temperaturkurve, die zu jedem Glühzustande gehörende wahre absolute Temperatur ablesen.

Habe ich vorher auch die Dicke und Länge des Kohlenfadens bestimmt, so kann ich jetzt rechnen, welchen Wert ich dem μ in der Formel 2.) geben muss, damit die nach der Formel für jeden Glühzustand berechneten Temperaturen mit den aus der Watt/HK$_{hor.}$-Temperaturkurve abgelesenen Temperaturen möglichst gut übereinstimmen.

Bei diesen Versuchen und auch bei allen spätern am Bogen wurden die Watt mit einem Voltmeter von der Elektrischen Gesellschaft *Gebr. Ruhstrat* in Göttingen mit einer Ablesegenauigkeit von 0,2 Volt in dem Messbereich von 0—120 Volt und einem *Siemens*'schen Präcisionsampèremeter mit einer Messgenauigkeit von 0,02 Ampère im Bereich von 0—12 Ampère gemessen. Die Lampen wurden durch eine Akkumulatorenbatterie von 128 Volt gespiesen und ihre Belastung durch entsprechende Vorschaltwiderstände beliebig variiert. Sie hatten bei 100 Volt eine Lichtstärke von ca. 75 Kerzen (Normalbelastung) und wurden so gewählt, damit man sie bequem überlasten und so einen grösseren Messbereich erhalten konnte.

Die Lampen wurden bei verschiedenen Glühzuständen gegen eine Zwischenlampe konstanter Helligkeit von etwa 25 Kerzen photometriert und nachher diese Zwischenlampe mit der Einheitslampe von *Hefner-Alteneck* verglichen. Die Distanzen wurden so gewählt, dass nie eine Lampe mehr als 80 cm vom Photometer entfernt war. Liess ich eine Lichtquelle und das Photometer stehen

[1]) **H. Kohn,** l. c. p. 335.

und stellte durch Verschieben der zweiten Lichtquelle auf gleichen Kontrast der Vergleichsfelder im Photometer ein, so betrug die grösste Abweichung eines Einzelwertes der Einstellung gegenüber dem Mittelwert wenig mehr als $^1/_2$ %.

Tabelle 1.

Watt	$HK_{hor.}$	$\frac{\text{Watt}}{HK_{hor.}}$	Abgelesene Temperatur	Berechnete Temperatur mit $\mu_0 = 0{,}950 \cdot 10^{-12}$	△
182,0	21,1	8,63	1902°	1904°	+ 2°
226,0	41,9	5,39	2010°	2010°	± 0°
258,0	64,6	3,99	2088°	2077°	— 11°
381,5	189,0	2,02	2304°	2291°	— 13°
472,0	308,0	1,53	2410°	2416°	+ 6°
351,5	141,0	2,49	2236°	2245°	+ 9°
291,5	91,6	3,18	2156°	2142°	— 14°
229,5	43,4	5,29	2015°	2017°	+ 2°
184,5	21,2	8,70	1901°	1910°	+ 9°
185,5	23,5	7,89	1922°	1913°	— 9°
225,5	40,9	5,51	2004°	2009°	+ 5°
259,5	62,9	4,13	2079°	2080°	+ 1°
318,0	112,0	2,84	2196°	2189°	— 7°
381,0	177,0	2,15	2280°	2290°	+ 10°
472,0	309,0	1,53	2410°	2416°	+ 6°

So habe ich das μ für die Lampen bestimmt, die bei den Temperaturbestimmungen am Metallbogen verwendet wurden.

Tabelle 2a.

Stellung der Mikrometer-schraube	Ablesungen am Ocularnicol						Mittel d. Ablesungen am Ocular-nicol	Ampère	Volt
3550	68,8	68,7	69,0				68,8		
3415	70,3	70,5	70,1				70,3	2,30	81,3
3315	70,8	71,1	71,1				71,0	—0,07	—1,2
3165	72,0	72,3	72,5	71,9			72,2	2,23	80,1
2950	73,3	73,0	73,1				73,1		
3550	61,9	62,0	62,2				62,0		
3415	63,4	62,6	63,4	62,7	62,6		62,9	2,62	90,0
3315	63,2	63,4	63,6				63,4	—0,07	—1,4
3165	64,1	65,0	64,6	63,9			64,4	2,55	88,6
2950	65,5	65,7	65,7				65,6		
3550	54,9	54,5	54,3	54,8			54,6		
3415	55,0	54,7	54,6	55,4	55,0	55,5	55,0	2,97	99,2
3315	55,6	55,7	55,7				55,7	—0,07	—1,5
3165	55,5	55,9	56,0	56,4	55,7		55,9	2,90	97,7
2950	56,9	56,5	56,7				56,7		
3550	48,3	48,2	48,2	48,2			48,2		
3415	48,1	48,7	48,3	48,7	47,6		48,3	3,28	107,3
3315	48,6	48,4	48,5				48,5	—0,07	—1,7
3165	49,0	49,1	48,5	49,3			49,0	3,21	105,6
2950	48,7	48,4	49,0	48,3			48,6		
3550	37,8	37,8	37,5	37,6	37,8	37,7	37,7		
3415	36,8	36,9	36,3	36,9			36,7	4,00	122,2
3315	36,8	36,0	37,0	36,3	37,0	36,5	36,6	—0,08	—2,2
3165	35,7	35,5	36,5	36,4			36,0	3,92	120,0
2950	35,6	35,7	36,3	35,3			35,7		

Tabelle 1 gibt die Versuchsresultate von zwei Lampen wieder. Die Länge des glühenden Fadens betrug 249 mm und seine Dicke, die mit einem Messmikroskop von *O. Toepfer und Sohn,* Potsdam, bestimmt wurde, war $d = 0{,}445$ mm. Der gefundene Wert für μ lässt schliessen, dass der Kohlenfaden dieser Lampen unpräpariert ist; dies stimmt mit der Fabrikangabe überein.

Für Lampen derselben Fabrik mit präpariertem Faden fand ich auf diese Weise den Wert

$$\mu_1 = 0{,}745 \cdot 10^{-12} \frac{\text{g} - \text{Kal.}}{\text{cm}^2 \text{ sec grad}^4}$$

Der Vollständigkeit halber will ich noch erwähnen, dass ich die analogen Versuche an Kohlenfadenglühlampen von der Glühlampenfabrik Zürich wiederholt habe und etwas andere Werte für μ_0 und μ_1 erhalten habe.

Nun konnte ich Temperaturmessungen nach der Methode der logarithmischen Isochromaten vornehmen. Zuerst bestimmte ich die Temperatur einiger Kohlenfadenlampen. Dabei wurde die oben beschriebene Versuchsanordnung angewendet mit der Aenderung, dass das Projektionsobjektiv wegfiel und zwei Mattscheiben ohne Blenden benutzt wurden. Eine die Messung beeinflussende selektive Absorption der Mattscheiben konnte nicht festgestellt werden. Die zu untersuchende Lampe diente als Vergleichslichtquelle. Ich gebe in Tabelle 2 a das ganze Versuchsprotokoll

Tabelle 2 b.

T	$\frac{1}{T} \cdot 10^4$	$\log E_\lambda$				
		$\lambda = 0{,}650\,\mu$	$\lambda = 0{,}610\,\mu$	$\lambda = 0{,}585\,\mu$	$\lambda = 0{,}555\,\mu$	$\lambda = 0{,}520\,\mu$
1895°	5,277	— 0,823	— 0,892	— 0,941	— 0,987	— 1,035
2010°	4,975	— 0,549	— 0,582	— 0,601	— 0,639	— 0,687
2127°	4,701	— 0,297	— 0,310	— 0,332	— 0,339	— 0,365
2224°	4,496	— 0,097	— 0,100	— 0,106	— 0,122	— 0,109
2414°	4,142	+ 0,224	+ 0,255	+ 0,258	+ 0,278	+ 0,287

einer solchen Messung an einer Lampe mit präpariertem Kohlenfaden und in Tabelle 2b.) die Ausrechnung desselben wieder.

Für φ wird immer ein Mittelwert von mindestens drei Ablesungen genommen. Die Ampère- und Voltmeter sind vor den Messungen mit einer Normalen geeicht worden; deshalb müssen die abgelesenen Werte noch Korrekturen erfahren (vgl. Tabelle 2 a.). Die Vergleichslichtquelle war fast normal belastet und hatte dauernd 94,0 Volt und 2,95 Ampère. Daraus und aus den Fadendimensionen berechnet sich nach Formel 2.) eine wahre absolute Temperatur von $T = 2243^0$. Die beobachtete Temperatur ergibt sich aus der Figur 2 zu $T = 2255^0$ abs. Die Uebereinstimmung ist gut.

Figur 3 zeigt noch eine Messung an einer Kohlenfadenlampe mit unpräpariertem Faden.

Bestimmung der wahren Temperatur des positiven Kraters im Kohlebogen.

Nach den Messungen von *E. Benedict*[1]) beträgt die wahre Temperatur des positiven Kraters der in freier Luft brennenden Kohlebogenlampe bei normaler Belastung 4200° abs. Ich habe diesen Versuch wiederholt und finde 4200° abs. $\mp$ 1%. Für diese und alle folgenden Messungen am Metallbogen musste ich die Hilfe eines Freundes[2]) beanspruchen, der die Bogenlampe so regulierte, dass die gewünschte Elektrode auf die Mattscheibe mit der Blende projiciert wurde und immer die hellste Stelle dieser Elektrode im Photometer zur Wirkung gelangte. Die Bogenlampe war immer an das städtische Gleichstromnetz von 220 Volt angeschlossen.

5. Temperaturbestimmungen am Metallbogen.

I. Teil.

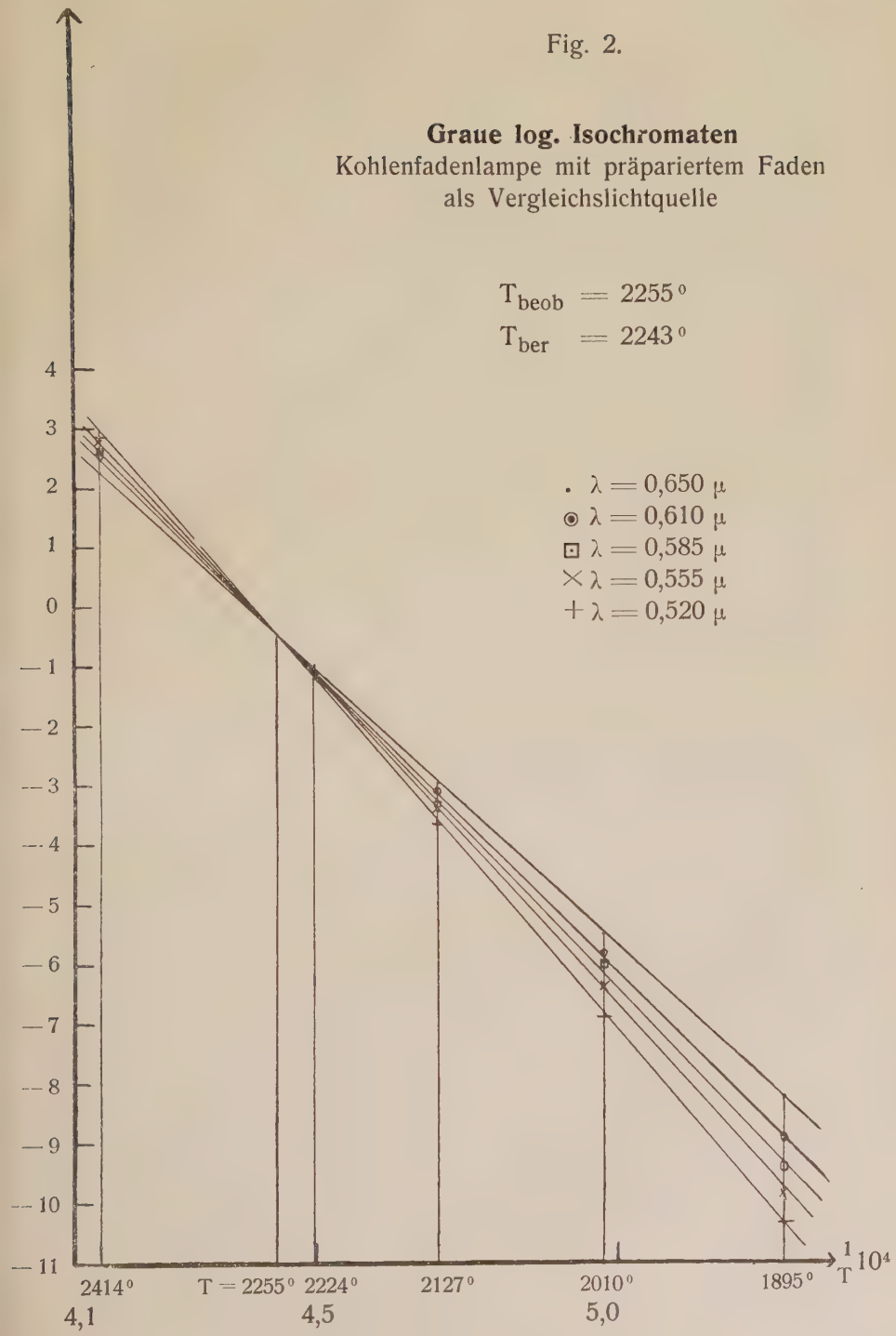
Bei den Messungen der wahren Temperatur an positiver und negativer Elektrode des Metallbogens musste vor allem darnach getrachtet werden, den Einfluss des eigentlichen Bogenlichtes bei der photometrischen Einstellung möglichst zu eliminieren. Zu ver-

[1]) **E. Benedict,** l. c. p. 654.

[2]) Es sei auch hier meinen Freunden **H. Freivogel** und **J. Mosimann,** die mir abwechslungsweise behilflich waren, bestens gedankt.

Fig. 2.

Graue log. Isochromaten
Kohlenfadenlampe mit präpariertem Faden
als Vergleichslichtquelle



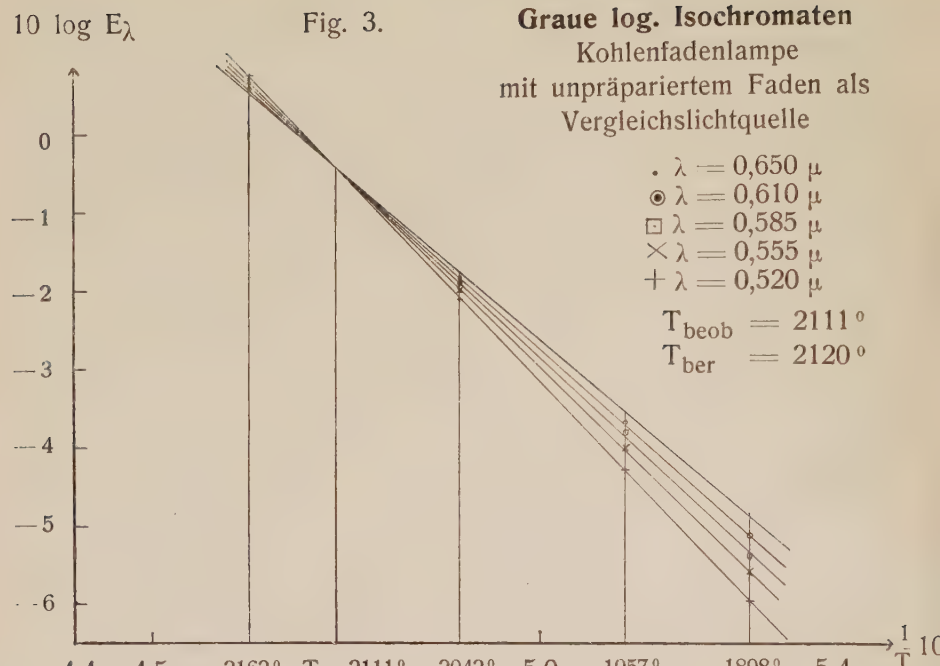


Fig. 3. **Graue log. Isochromaten** Kohlenfadenlampe mit unpräpariertem Faden als Vergleichslichtquelle

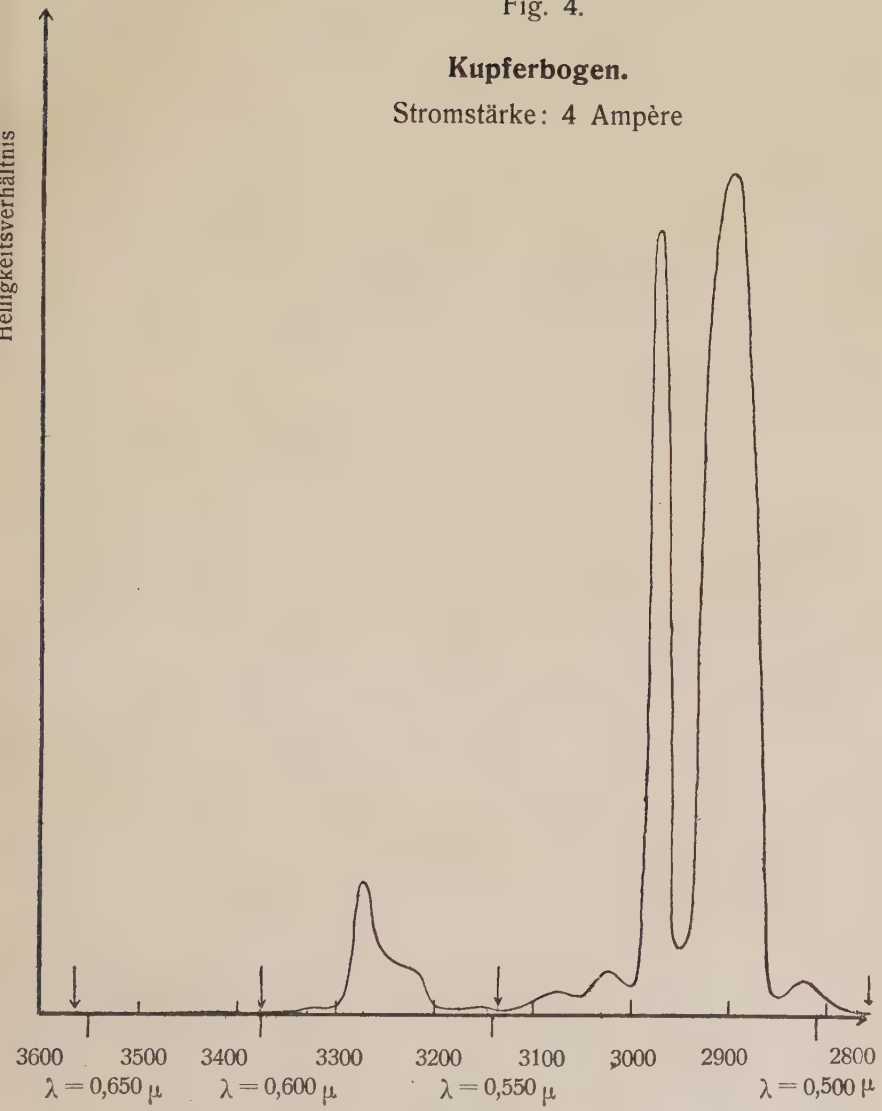
meiden ist das Bogenlicht nicht, da im allgemeinen eben dort die Elektrode am heissesten ist, wo der Bogen jeweilen anbeisst; gerade die Temperatur dieser Stelle soll aber bestimmt werden. Am geringsten ist der Einfluss, wenn man die logarithmischen Isochromaten für solche Wellenlängen im kontinuierlichen Spektrum der festen, oder flüssigen glühenden Elektrode aufnimmt, die das Bogenlicht nicht oder nur in geringer Intensität zu emittieren vermag.

Um diese Stellen ausfindig zu machen, wurde für alle untersuchten Metallbogen zuerst nur das Bogenlicht zwischen zwei vertikalen Elektroden gegen eine Kohlenfadenlampe konstanter Helligkeit an möglichst vielen Orten des sichtbaren Spektrums photometriert. Die Spaltbreiten waren dabei die gleichen wie bei den entsprechenden Temperaturmessungen. Trägt man das Helligkeitsverhältnis als Ordinate und die Stellung der Mikrometerschraube (Wellenlänge) als Abszisse auf, so erhält man Kurven, die uns nur sagen sollen, wo der Bogen des betreffenden Metalls starke

Fig. 4.

Kupferbogen.

Stromstärke: 4 Ampère



Stellungen der Mikrometerschraube (Wellenlänge).

Lichtintensitäten aussendet und wo schwache. Figur 4 stellt diese Kurve für Kupfer dar. Sie zeigt, dass es im sichtbaren Teil des Bogenspektrums von Kupfer Stellen gibt, wo sehr wenig Licht emittiert wird. Die Maxima der Kurve rühren, wie man leicht einsieht, von den starken Kupferbogenlinien in der Gegend von $\lambda = 0{,}570—0{,}580\ \mu$ und $\lambda = 0{,}510—0{,}525\ \mu$ her. Die Pfeile geben die Wellenlängen an, für welche die Isochromaten der Strombasis aufgenommen wurden.

Eine analoge Kurve lässt sich am Eisenbogen aufnehmen. Die Intensität des Bogens wächst hier im allgemeinen mit abnehmender Wellenlänge. Infolge der vielen Linien im Bogenspektrum des Eisens lässt sich erklären, dass auch an den Minimastellen der Kurve schon eine ordentlich starke Bogenintensität vorhanden ist.

Die beiden Beispiele mögen zeigen, wie vorgegangen wurde, um bei den Temperaturbestimmungen den störenden Einfluss des Bogenlichtes möglichst auszuschalten.

Abhängigkeit der wahren Temperatur an der positiven Metallelektrode von der Stromstärke.

Um festzustellen, ob die Temperatur des hellsten Fleckes an der Anode im Metallbogen von der Stromstärke abhängig ist, wurde das Spektralphotometer als *Wanner*pyrometer benutzt, d. h. der hellste Fleck wurde nur in einer Farbe gegen die Kohlenfadenglühlampe photometriert, die immer genau die gleiche Helligkeit besass, währenddessen im Bogen bei konstanter Bogenlänge der Strom von 2—20 Ampère variiert wurde. Die Einstellungen bei jeder Stromstärke erfolgten am Spektralphotometer wieder für eine Wellenlänge, bei welcher der Bogen des untersuchten Metalls möglichst wenig Licht aussendet.

Diese Untersuchungen wurden am Silber-, Kupfer-, Eisen- und Nickelbogen in Luft durchgeführt. Bei den genannten Metallen, sowie auch beim Wolfram, bildeten sich nach einigem Brennen an der Anode und Kathode geschmolzene Metallkügelchen, an denen dann der Bogen ansetzt. Ist dieser Zustand einmal erreicht, so brennt der Bogen relativ ruhig; immerhin unvergleichlich schlechter als der Kohlebogen in Luft. Um dieses geschmolzene Kügelchen herum bildet sich allmählich Oxyd. Diese Oxydbildung steigert sich von Kupfer über Eisen, Nickel zu Wolfram. Das Silber oxydiert sich praktisch nicht.

Beim Silberbogen glühen schon bei einer kleinen Stromstärke beide Elektroden in ihrer ganzen Ausdehnung und fast gleichmässig. Erhöht man die Stromstärke, so wird das Glühen stärker. Nie bildet sich jedoch an der Stelle, wo der Bogen ansetzt, ein ausgesprochener Fleck, der viel heller wäre als seine Umgebung. So reichte auch die Helligkeit der Anode noch nicht aus, um bei der gegebenen Versuchsanordnung im Photometer genügend wirksam zu sein. Wohl war zu erwarten gewesen, dass bei erhöhter Stromstärke die Anode genügend hell würde; dann war aber auch zu befürchten, dass von einem Augenblick an die ganze Silberelektrode abtropfen würde. Die Dicke der Silberelektroden betrug 0,8 cm und ihre Länge 2,5 cm.

Die Temperatur der Anode im Kupferbogen ist auch von der Stromstärke abhängig. Die beiden Kupferelektroden von 8,5 cm und 5,5 cm Länge und 0,9 cm Dicke glühen erst von etwa 14 Ampère an ganz; jedoch bildet sich schon bei kleinen Stromstärken nach einiger Zeit an der Bogenansatzstelle ein hellster Fleck, der sich deutlich von der dunklern Umgebung abhebt.

Beim Eisen- und Nickelbogen bildet sich augenblicklich schon bei kleiner Stromstärke ein hellster Punkt. Auch bei 20 Ampère glüht nur der Kopf der Elektroden.

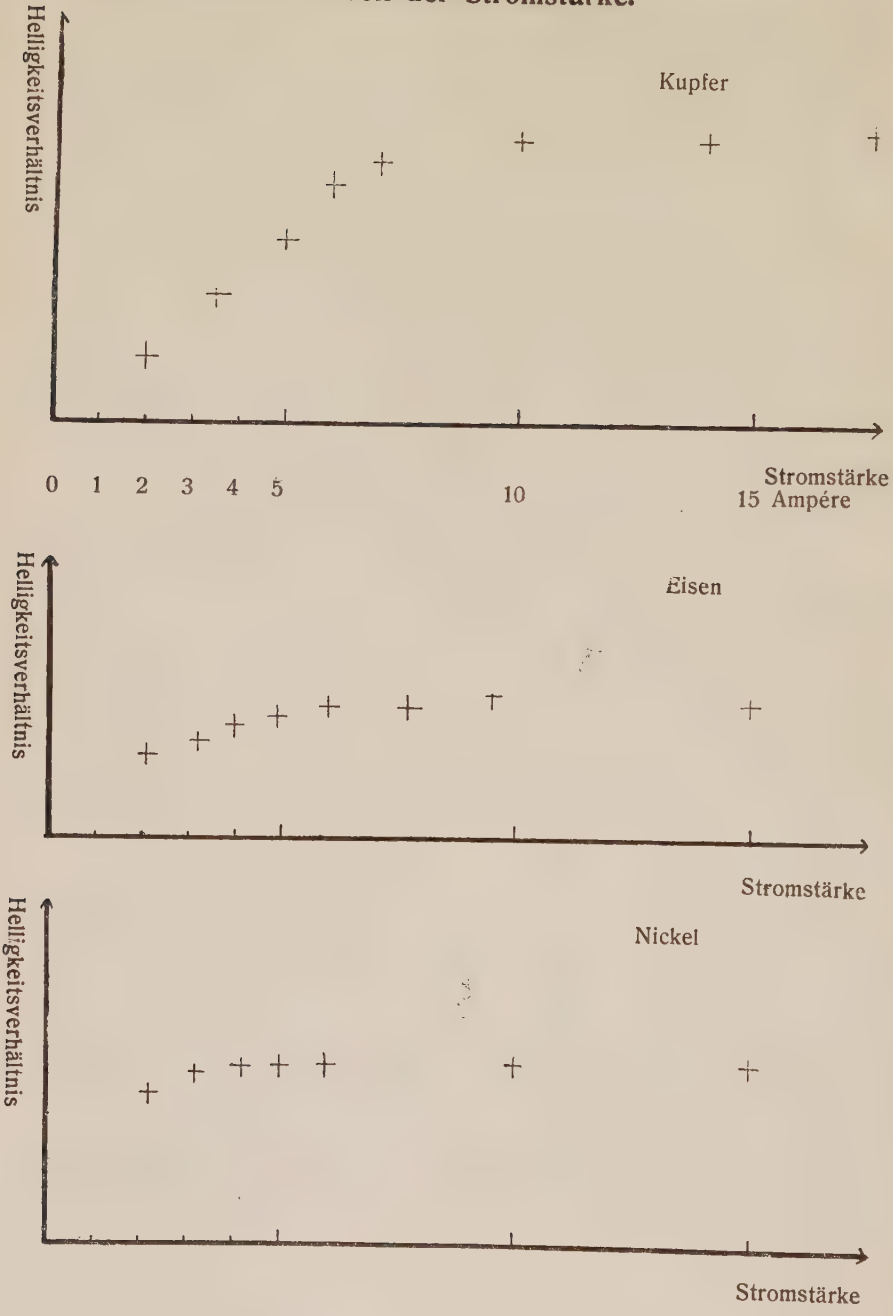
Die Ansatzstelle des Wolframbogens an der Anode sieht ganz nadelstichartig aus. Da mir zwei dünne Wolframstäbchen als Elektroden zur Verfügung standen, so wollte ich das Material nicht durch starke Stromstärken rasch verbrauchen. Bei kleinen Stromstärken füllt aber der hellste Fleck das von ihm beleuchtete Vergleichsfeld im Photometer nicht aus. Aus diesem Grunde musste diese Messung unterbleiben.

Die am Kupfer-, Eisen- und Nickelbogen gewonnenen Resultate veranschaulicht Figur 5. Trägt man das Helligkeitsverhältnis als Funktion der Stromstärke auf, so zeigt ein Ansteigen der Kurve, dass die Helligkeit der positiven Bogenelektrode mit zunehmender Stromstärke wächst, da die Elektrode gegen eine Glühlampe konstanter Intensität photometriert wurde; dann sagt uns diese Kurve aber auch, dass die Temperatur der positiven Bogenelektrode mit wachsender Stromstärke zunimmt.

Eine solche Abhängigkeit besteht bei den drei genannten Metallbogen und sie ist bei Kupfer am grössten. Ferner steigt

Fig. 5.

Abhängigkeit der Temperatur der positiven Elektrode von der Stromstärke.



die Temperatur von einem bestimmten Moment an nicht mehr, sondern bleibt trotz vermehrter Stromzufuhr konstant. Wenn sich der hellste Fleck der Anode auf dieser Höchsttemperatur befindet, so dient jede weitere Stromzufuhr zur Vergrösserung dieses Fleckes. Damit soll nicht gesagt seln, dass vor diesem Moment die wachsende Stromstärke nur eine Temperaturerhöhung hervorruft; anscheinend geht die Temperaturerhöhung mit der Fleckvergrösserung Hand in Hand vor sich.

Durch die gemachten Beobachtungen wird man auf die Vermutung geführt, dass hier das Wärmeleitvermögen der Metalle eine Rolle spielt. Oder sollte es Zufall sein, dass gerade beim Silber, welches das grösste Wärmeleitvermögen der Metalle besitzt, die Temperatur der Anode die grösste Abhängigkeit von der Stromstärke zeigt und dass bei den andern untersuchten Metallbogen diese Abhängigkeit für die Metalle in derjenigen Rangordnung kleiner wird, wie das Wärmeleitvermögen der betreffenden Metalle abnimmt? Am Kupferbogen wurden noch Messungen gemacht, welche diese bestätigen; sie werden später mitgeteilt.

Nach diesen mehr qualitativen und orientierenden Versuchen ging ich dazu über, die Temperaturen dieser Metallelektroden an ihrer hellsten Stelle wirklich zu bestimmen.

Tabelle 3.

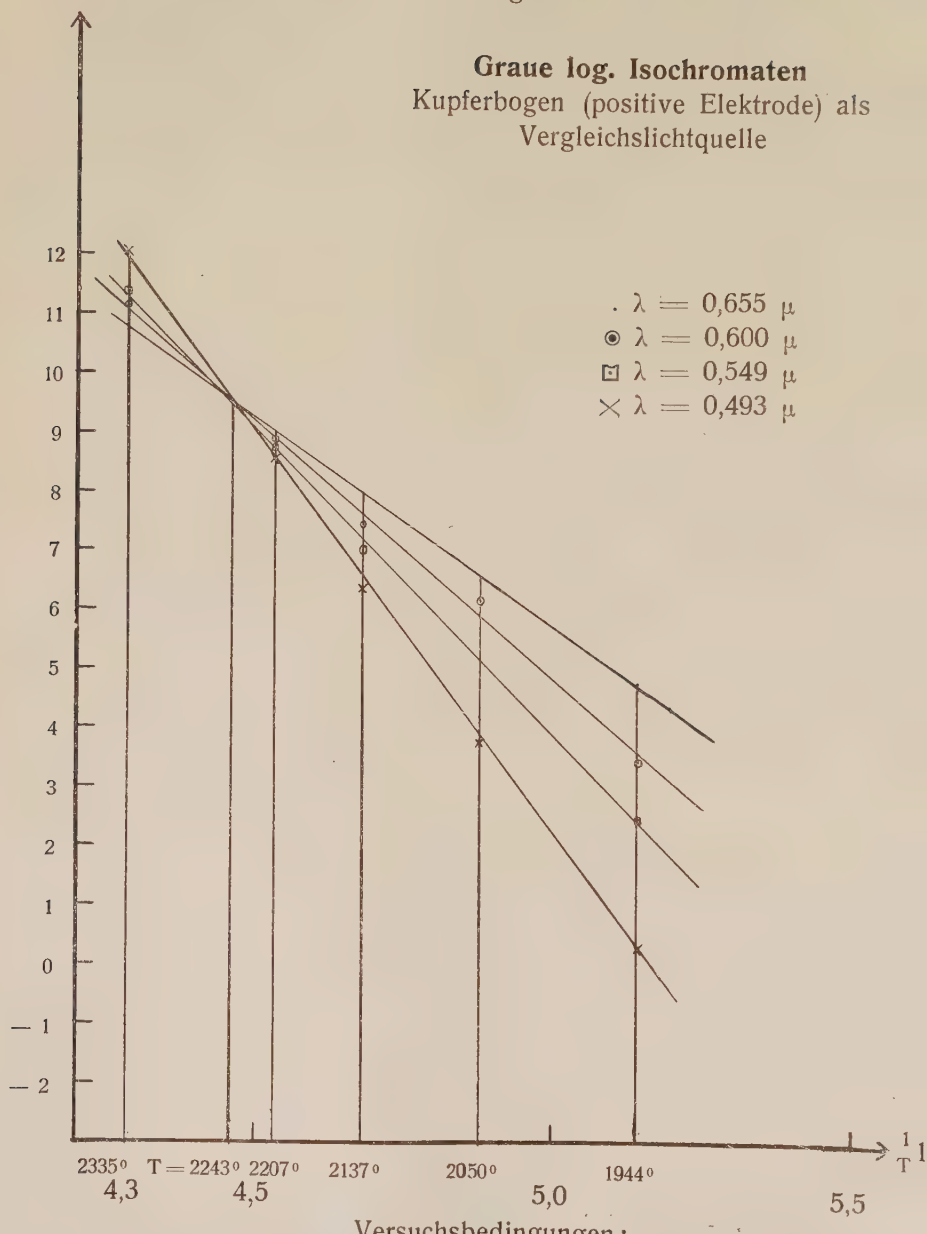
T	$\frac{1}{T} \cdot 10^4$	log E_λ			
		$\lambda = 0{,}655\ \mu$	$\lambda = 0{,}600\ \mu$	$\lambda = 0{,}549\ \mu$	$\lambda = 0{,}493\ \mu$
2335°	4,283	1,079	1,114	1,138	1,207
2207°	4,531	0,902	0,887	0,873	0,855
2137°	4,679	0,787	0,744	0,699	0,635
2050°	4,878	—	0,616	—	0,375
1944°	5,144	0,477	0,342	0,246	0,030

Kupferbogen.

Tabelle 3 und Figur 6 stellen eine Messung an der positiven Elektrode des Kupferbogens bei einer Stromstärke von 4,5 Ampère dar.

Fig. 6.

Graue log. Isochromaten
Kupferbogen (positive Elektrode) als Vergleichslichtquelle



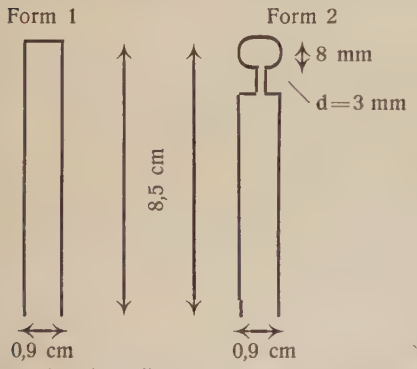
Versuchsbedingungen:

Stromstärke: 4,5 Ampère
Spannung: 50 Volt
Bogenlänge: 0,6 cm

Positive Elektrode: d = 0,9 cm l = 8,5 cm
Negative Elektrode: d = 0,9 cm l = 5,5 cm

Aus drei solchen Messungen ergaben sich wahre absolute Temperaturen von 2240°—2260°. Unter gleichen Verhältnissen ist die Temperatur der negativen Elektrode bedeutend niedriger; die Helligkeit genügt nicht einmal um ein Photometrieren zu ermöglichen. Steigert man die Stromstärke bis zu 18 Ampère, so erhält man an der positiven Elektrode eine Temperatur von 2430°—2450° abs. Dieser Temperaturanstieg entspricht dem Verlauf der Kurve in Figur 5. Auch die negative Elektrode hat jetzt an Helligkeit gewonnen.

Nun wurde bei einer Stromstärke von 4,4 Ampère wieder eine Messung an der positiven Elektrode gemacht. Dann wurde diese Elektrode so in einen Kessel getaucht, der von fliessendem Wasser durchströmt wurde, dass nur der Kopf der Elektrode aus dem Wasser hervorragte und die Messung unter sonst gleichen Bedingungen wiederholt. Im ersten Fall erhielt ich eine Temperatur von 2235° abs.; im zweiten Fall von 2165° abs.



Unter gleichen Bedingungen wurden auch Messungen bei 4 Ampère an einer positiven Elektrode der Form 1 und 2 gemacht. Mit Form 2 ergibt sich eine Temperatur, die 60°—70° höher ist als bei Form 1.

Diese Temperaturunterschiede lassen sich durch verschiedene Wärmeabfuhr bei den einzelnen Versuchen erklären.

In Figur 6 haben wir u. a. eine Messung, bei der wir die wahre Temperatur der Vergleichslichtquelle nicht durch Extrapolation, sondern durch Interpolation finden. Diese Tatsache äussert sich dadurch (vgl. Tabelle 2b), dass zwischen zwei bestimmten, aufeinanderfolgenden Glühzuständen der Kohlenfadenlampe einzelne, oder alle abgelesenen Werte des Helligkeitsverhältnisses für die verschiedenen Wellenlängen im umgekehrten Sinne verlaufen wie vorher. Diese Erscheinung bildet ein empfindliches Kriterium für die Temperaturbestimmung und erlaubt namentlich bei Metallbogen, die sehr unruhig brennen und bei denen somit die Lage der aufgenommenen Isochromaten relativ unsicher ist, doch eine verhältnismässig sichere Angabe der Temperatur.

Eisenbogen.

Als wahre absolute Temperatur an der positiven Elektrode des Eisenbogens bei 3,5 Ampère erhalte ich aus 6 Messungen 2585°—2605°. Eine Messung gibt Tabelle 4 und Figur 7 wieder. Die negative Elektrode ist unter den gleichen Verhältnissen weniger heiss; dafür finde ich eine Temperatur von 2430° abs. Erhöht man die Stromstärke auf 17 Ampère, so bleibt die Temperatur der positiven Elektrode praktisch konstant. (2590°) Nach der Kurve in Figur 5 steigt die Temperatur dieser Elektrode von 3,5 bis 17 Ampère noch etwa um 20°. Dies stellt einen Betrag dar, der jedoch kaum grösser ist, als derjenige des Versuchsfehlers.

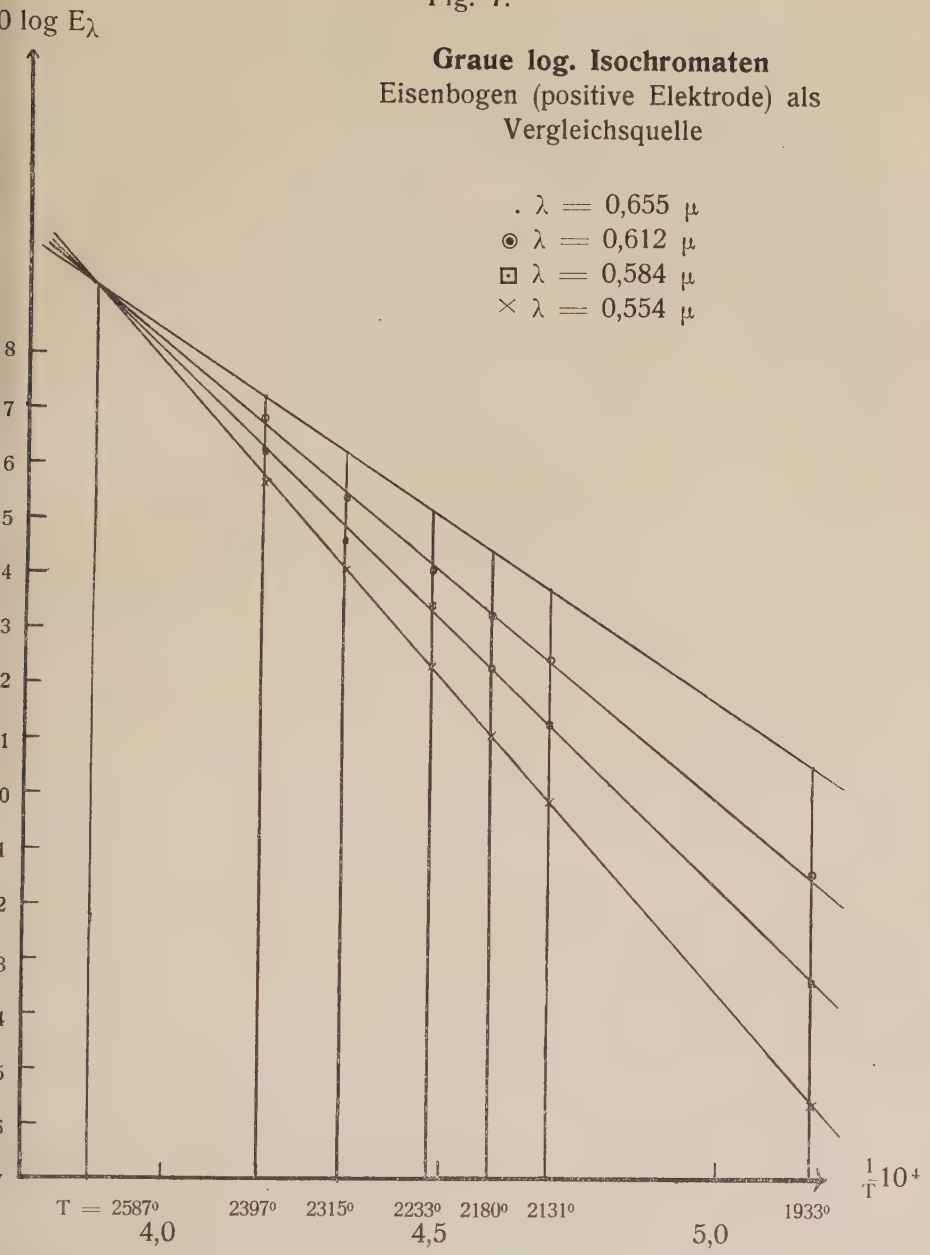
Tabelle 4.

T	$\frac{1}{T} \cdot 10^4$	$\log E_\lambda$			
		$\lambda = 0{,}655\ \mu$	$\lambda = 0{,}612\ \mu$	$\lambda = 0{,}584\ \mu$	$\lambda = 0{,}554\ \mu$
2397°	4,172	0,723	0,683	0,624	0,567
2315°	4,319	0,624	0,538	0,460	0,408
2233°	4,478	0,513	0,408	0,342	0,230
2180°	4,587	0,443	0,326	0,230	0,106
2131°	4,693	0,375	0,246	0,128	— 0,015
1933°	5,173	0,052	— 0,143	— 0,342	— 0,568

Nickelbogen.

Am Nickelbogen erhalte ich als wahre absolute Temperatur der positiven Elektrode (Tabelle 5.) bei 4,2 Ampère aus 3 Messungen 2430°—2450° und für die negative Elektrode 2365°. Die Temperatur der Anode ändert sich mit wachsender Stromstärke nicht.

Fig. 7.



Versuchsbedingungen:

Stromstärke: 3,5 Ampère
Spannung: 50 Volt
Bogenlänge: 0,7 cm

Positive Elektrode: d = 1,0 cm l = 10,5 cm
Negative Elektrode: d = 0,7 cm l = 6,0 cm

Tabelle 5.

T	$\frac{1}{T} \cdot 10^4$	log E_λ			
		$\lambda = 0{,}650\ \mu$	$\lambda = 0{,}600\ \mu$	$\lambda = 0{,}564\ \mu$	$\lambda = 0{,}535\ \mu$
2295°	4,357	0,926	0,897	0,869	0,827
2133°	4,688	0,593	0,534	0,453	0,375
2062°	4,850	0,436	0,342	0,246	0,152
1965°	5,089	0,202	0,076	— 0,030	— 0,168
1863°	5,367	— 0,061	— 0,246	— 0,408	— 0,567

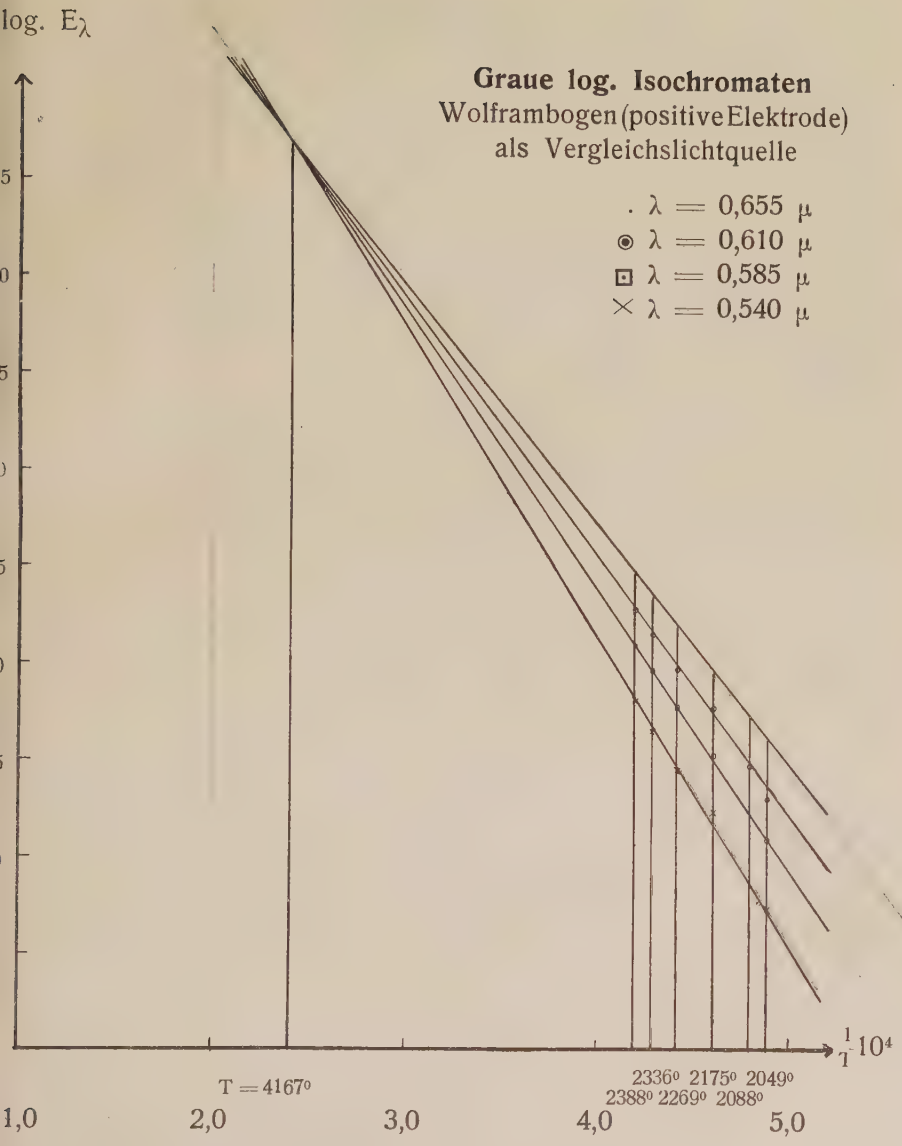
Wolframbogen.

Die wahre absolute Temperatur der positiven Bogenelektrode des Wolframs ist sehr hoch; ich finde aus 3 Messungen 4150° bis 4250° (vgl. Tabelle 6 und Figur 8).

Tabelle 6.

T	$\frac{1}{T} \cdot 10^4$	log E_λ			
		$\lambda = 0{,}655\ \mu$	$\lambda = 0{,}610\ \mu$	$\lambda = 0{,}585\ \mu$	$\lambda = 0{,}540\ \mu$
2388°	4,188	0,477	0,278	0,091	— 0,190
2336°	4,281	0,345	0,149	— 0,036	— 0,349
2269°	4,407	0,177	— 0,030	— 0,224	— 0,552
2175°	4,598	— 0,036	— 0,230	— 0,477	— 0,766
2088°	4,789	— 0,278	— 0,531	—	—
2049°	4,880	— 0,392	— 0,703	— 0,916	— 1,273

Fig. 8.



Versuchsbedingungen:

Stromstärke: 2,4 Ampère
Spannung: 60 Volt
Bogenlänge: 0,3 cm

Positive Elektrode:
Negative Elektrode: d = 0,4 cm l = 3,5 cm

Diese Zahlen stimmen gut überein mit der von *G. P. Luckey*[1]) bestimmten Temperatur. Er berechnet die wahre Temperatur aus der für $\lambda = 0{,}661\ \mu$ beobachteten schwarzen Temperatur mit Hilfe des Absorptionsvermögens und findet für die heisseste Elektrodenstelle im Wolframbogen 4235° abs. (Schwarze Temperatur für $\lambda = 0{,}661\ \mu$: 3559° abs.) Diese Temperatur kann nur genau sein, wenn für das zu $\lambda = 0{,}661\ \mu$ gehörende Absorptionsvermögen ein Wert zur Berechnung der wahren Temperatur verwendet worden ist, der für die Verhältnisse im Wolframbogen gilt. Bei den Versuchsbedingungen, unter denen meine oben angeführte Messung stattgefunden hat, finde ich für die negative Elektrode eine Temperatur von rund 3000° abs.

Einfluss des Bogenlichtes auf die Temperaturbestimmungen.

Ueber den maximalen Einfluss, den das Bogenlicht auf die Messungen ausüben kann, gelingt es auf folgende Weise zu einer gewissen Beurteilung zu gelangen.

Nehme ich an, dass ich beim Photometrieren der Helligkeit des hellsten Elektrodenfleckes H_{El} noch eine gewisse Helligkeit H_{Bg}, die vom Bogenlicht herrührt, mitmesse, so kann ich unter Berücksichtigung der Formel 1.) die Beziehung ansetzen:

$$C \cdot \left(H_{El} + H_{Bg}\right) = \operatorname{tg}^2 \varphi_1$$

wo C einen Proportionalitätsfaktor bedeutet. Kann ich nun bei der gleichen Wellenlänge die Helligkeit bestimmen, deren Ursache das Bogenlicht allein ist, so gilt:

$$C \cdot H_{Bg} = \operatorname{tg}^2 \varphi_2$$

somit wird

$$C \cdot H_{El} = \operatorname{tg}^2 \varphi_1 - \operatorname{tg}^2 \varphi_2$$

oder logarithmiert:

$$C \cdot \log H_{El} = \log \left(\operatorname{tg}^2 \varphi_1 - \operatorname{tg}^2 \varphi_2\right) \qquad 3.)$$

Da ich den Bogen an einer Stelle photometrierte, an der seine Schichtdicke und damit seine Intensität stärker war als an der Ansatzstelle der Elektrode, so erhalte ich mit dieser Art der Berechnung für H_{Bg} Werte, die sicher grösser sind als die bei den Messungen eigentlich vorhandenen.

[1]) **G. P. Luckey**, l. c.

Es wurden nun Messungen in der Weise gemacht, dass zu jeder photometrischen Einstellung des hellsten, positiven Elektrodenfleckes bei den frühern Versuchsbedingungen auch eine Ablesung stattfand, bei der nur der Bogen Licht zum Photometer sandte. Dann kann ich die Isochromaten gemäss Gleichung 3.) korrigieren und graphisch ermitteln, was sich jetzt für eine mittlere Schnittpunktstemperatur ergibt.

Beim Kupferbogen wird die Temperatur der positiven Elektrode bei kleiner Stromstärke kaum 20° tiefer; der Bogeneinfluss auf die Messung ist minim. Da die Bogenintensität mit der Stromstärke wächst, so findet sich bei 18 Ampère eine Temperatur von etwa 2370° abs. Dieses Resultat liefert zugleich den Beweis dafür, dass sich das Wachsen der Helligkeit an der positiven Elektrode mit der Stromstärke nicht durch das alleinige Zunehmen der Bogenintensität mit der Stromstärke erklären lässt.

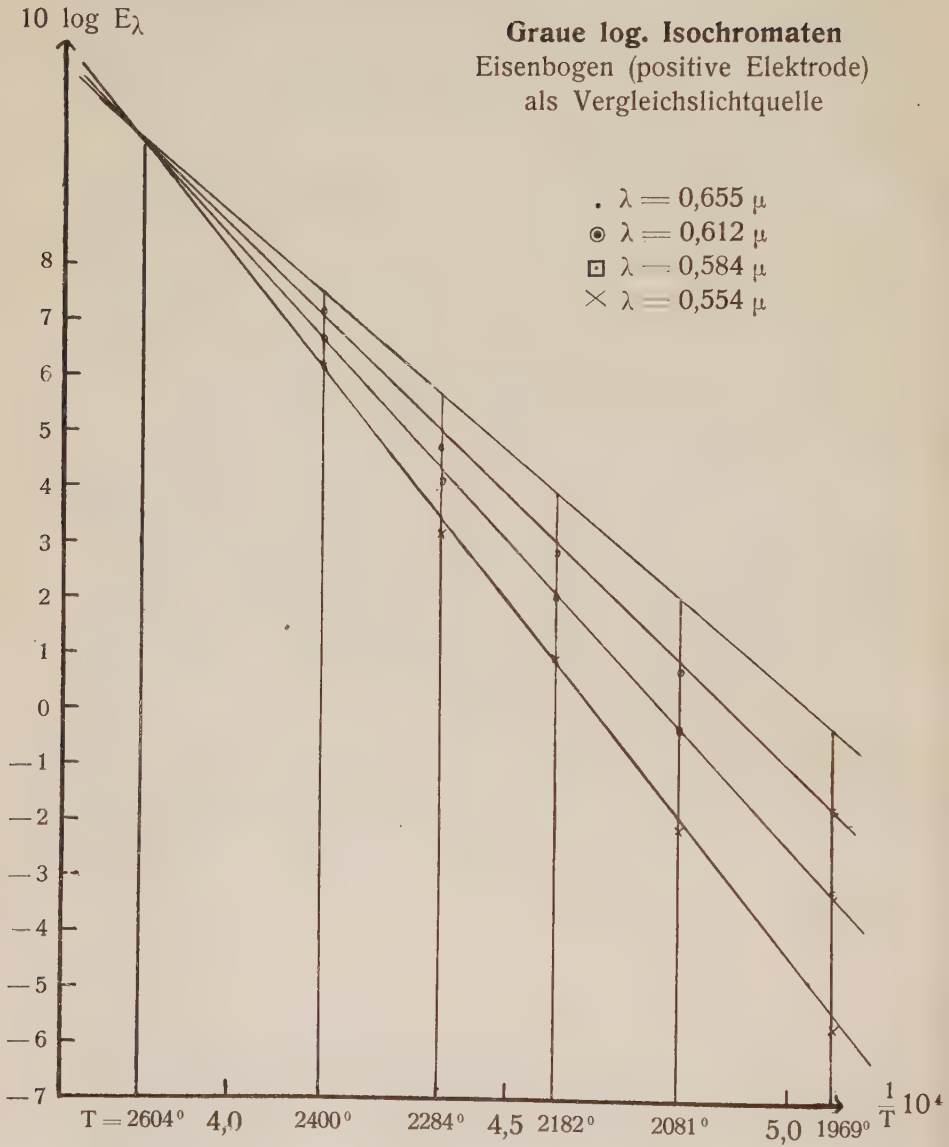
Beim Eisenbogen erhält man bei 5,5 Ampère als Temperatur der Anode etwa 2500° abs. (vgl. Figur 9 und 10), währendessen am Nickelbogen bei 4 Ampère diese korrigierte Temperatur nur etwa 20° tiefer ausfällt. Am Wolfram- und Kohlebogen, bei denen die positive Elektrode eine Temperatur von über 4000° abs. besitzt, scheint die relativ starke Bogenintensität infolge der enormen Helligkeit der Elektrode die Messung nicht stark zu beeinflussen; ich erhalte wenigstens nach obigem Verfahren keine wesentlich andere Temperatur.

Es sei nochmals erwähnt, dass diese Ueberlegungen und Versuche angestellt wurden, um angeben zu können, wie stark im ungünstigsten Fall der Einfluss des Bogens auf die Messungen sein könnte. Wie gross tatsächlich der dadurch hervorgerufene Fehler ist, wird damit nicht gesagt.

Nach den bisherigen Versuchen steigt die Temperatur der positiven Bogenansatzstelle bei Kupfer, Eisen und Nickel trotz erhöhter Stromzufuhr von einem bestimmten Moment an nicht mehr. Die Resultate, die am Silber- und Wolframbogen erhalten wurden, reichen zu dieser Feststellung nicht aus. Berücksichtigt

Unkorrigierte Messung

Fig. 9.



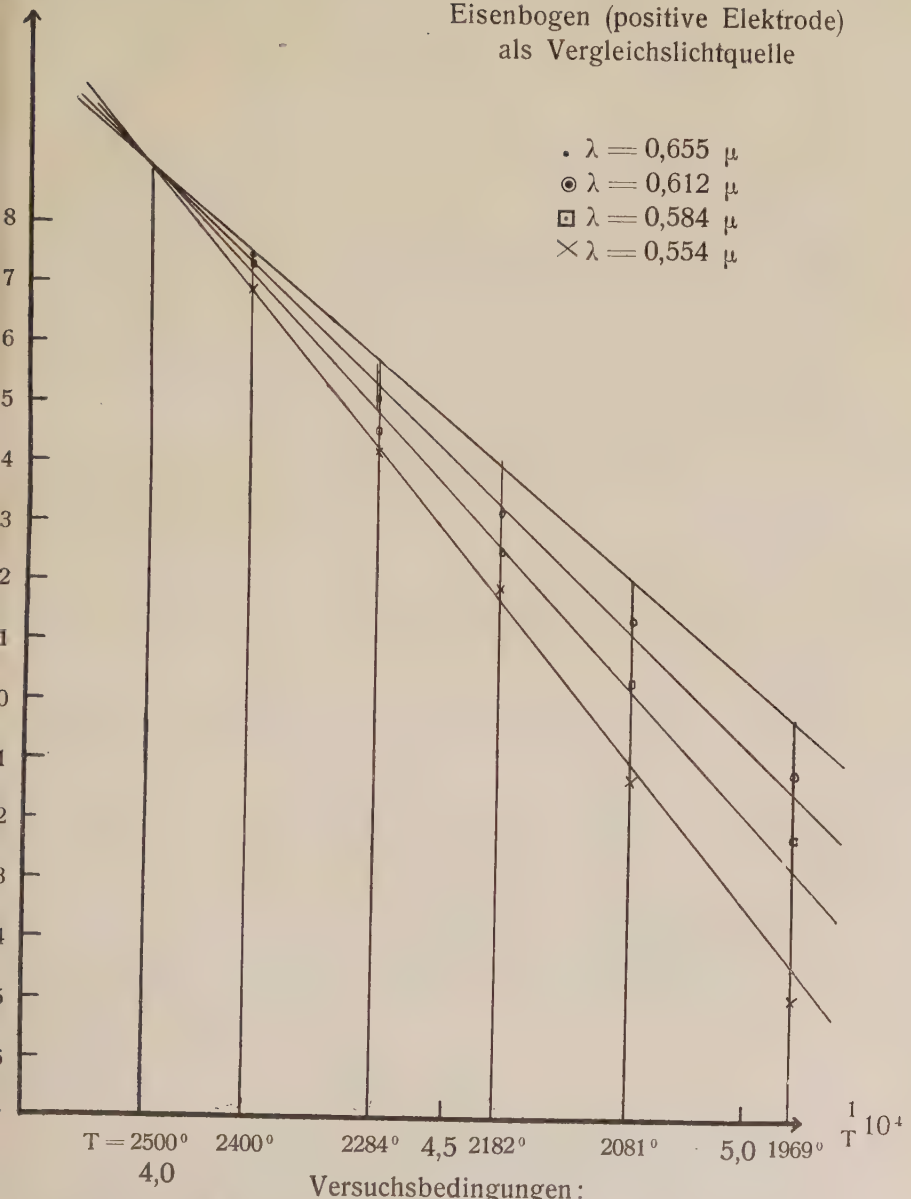
Versuchsbedingungen:

Stromstärke: 5,5 Ampère
Spannung: 40 Volt
Bogenlänge: 0,5 cm

Positive Elektrode: d = 1,0 cm l = 10,5 cm
Negative Elektrode: d = 0,7 cm l = 6,0 cm

Fig. 10.

Graue log. Isochromaten
Eisenbogen (positive Elektrode)
als Vergleichslichtquelle



Versuchsbedingungen:

Stromstärke: 5,5 Ampère
Spannung: 40 Volt
Bogenlänge: 0,5 cm

Positive Elektrode: d = 1,0 cm l = 10,5 cm
Negative Elektrode: d = 0,7 cm l = 6,0 cm

man noch, dass der Bogen direkt am geschmolzenen Metall brennt, so wird man leicht zur Behauptung geführt, zu sagen, dass sich von diesem Augenblick an die heliste, positive Elektrodenstelle auf der Siedetemperatur des Metalls befindet und deshalb keine höhere Temperatur mehr annehmen kann. Will man diese Behauptung aufrecht erhalten, so muss sie durch den Nachweis gestützt werden, dass die gefundenen Temperaturen mit den Siedetemperaturen dieser Metalle bei Atmosphärendruck übereinstimmen.

Dies ist nicht so leicht nachzuweisen. Einmal kennt man die Siedepunkte von Nickel und Wolfram bei Atmosphärendruck gar nicht; für meine Messungen ist er nur für Kupfer und Eisen bekannt. Für den Siedepunkt des Nickels kann man einen Anhaltspunkt aus Versuchen von *H. Moissan*[1]) gewinnen, der angibt, dass sich das Nickel leichter als Eisen verflüssigt. Dann sind die mit den optischen Pyrometern gemessenen Siedetemperaturen als schwarze Temperaturen anzusehen, während ich wahre Temperaturen bestimmt habe. Es lässt sich allerdings nachweisen, dass einzelne Forscher, speziell *H. C. Greenwood*[2]) die Strahlung des Metalles künstlich geschwärzt haben und so doch annähernd wahre Temperaturen erhalten mussten.

Für die Uebereinstimmung bei Kupfer und Eisen mag die folgende Tabelle 7 Aufschluss geben.

Tabelle 7.

Metall	Siedetemperatur bei Atmosphärendruck	Autor	Konstante wahre Temperatur der Anode im Metallbogen
Kupfer	2100° C	*Féry*[3])	2155°—2175° C
	2200° C	*von Wartenberg*[4])	
	2310° C	*Greenwood*[2])	
Eisen	2300° C	*O. Ruff*[5])	2310°—2330° C
	2450° C	*Greenwood*[2])	

Auch reiht sich die Temperatur 2155°—2175° für Nickel so in die Tabelle ein, wie nach den Beobachtungen von *Moissan* zu erwarten war.

Wenn diese Werte, wie aus Tabelle 7 folgt, für zwei Metalle der Grössenordnung nach übereinstimmen, so erfährt die

[1]) **H. Moissan,** C. R. **142**, p. 425. 1906.
[2]) **H. C. Greenwood,** Proc. Roy. Soc. A. **82**, p. 396. 1909.
[3]) **M. Féry,** Ann. d. Chimie et Physique, V (7) **28**, p. 428. 1903.
[4]) **H. von Wartenberg,** Ztschrft. f. anorg. Chemie. **56**, p. 320. 1908.
[5]) **O. Ruff** Metallurgie, Halle. 8. p. 461.

Behauptung, dass die Höchsttemperatur an der Anode der betrachteten Metallbogen mit der Siedetemperatur der betreffenden Metalle identisch sei, darin wohl eine wertvolle Stütze, darf aber noch nicht als absolut sicher hingestellt werden.

II. Teil.

Bei den im I. Teil behandelten Versuchen brannte der Bogen an geschmolzenen Metallkügelchen. Wenn ich nun die Messungen am Bogen der Metalle *Aluminium, Magnesium und Zink* besonders erwähne, so geschieht dies deshalb, weil sich hier die Metalle an den beiden Elektroden sofort oxydieren. Da diese Oxyde offenbar die Elektrizität nicht gut leiten, so erlischt der Bogen schon nach kurzer Zeit. Meistens muss das Oxyd von den Elektroden entfernt werden, um ihn wieder zur Zündung zu bringen. Der Bogen dieser Metalle, besonders von Aluminium und Zink brennt in Luft ausserordentlich schlecht.

Unterzieht man diese Bogen einer äusserlichen Betrachtung, so scheint es, als ob die starke Oxydationsfähigkeit dieser Metalle es verhindert, dass der Bogen direkt am geschmolzenen Metall brennt. Das Metall schmilzt schon, speziell bei Aluminium und Zink tropft es bei genügender Stromzufuhr ab, darauf schwimmt aber eine Oxydschicht, an der — oder durch die — der Bogen an den Elektroden anbeisst. Auch glaube ich, dass beim Magnesium und Zink die Bogenansatzstelle nicht mit der heissesten Elektrodenstelle identisch ist; denn beim Zink wird die Ansatzstelle durch das Bogenlicht dunkelrot und beim Magnesium grün gefärbt. Beide Stellen geben im Photometer nicht so hell, wie das Oxyd, das dicht neben diesen Stellen und rings um sie herum bis zur Weissglut erhitzt wird. Die Temperatur dieses leuchtenden Oxyds wurde durch meine Messungen bestimmt. Beim Aluminium scheint wieder die Ansatzstelle des Bogens am hellsten zu sein; vom Beginn der Zündung an ist sie blendend weiss.

Aluminiumbogen.

Eine Messung an der Anode gibt Tabelle 8 und Figur 11 wieder. Als wahre absolute Temperatur ergibt sich 3350°—3450°. Die Temperatur der negativen Elektrode ist ebenso hoch.

Tabelle 8.

T	$\frac{1}{T} \cdot 10^4$	log E_λ			
		$\lambda = 0{,}650\ \mu$	$\lambda = 0{,}600\ \mu$	$\lambda = 0{,}500\ \mu$	$\lambda = 0{,}463\ \mu$
2423°	4,127	0,018	— 0,156	— 0,297	— 0,474
2305°	4,338	— 0,290	— 0,431	— 0,707	— 0,916
2201°	4,543	— 0,635	— 0,814	— 1,168	— 1,309
2109°	4,742	— 0,961	— 1,120	— 1,534	— 1,738

Magnesiumbogen.

Tabelle 9.

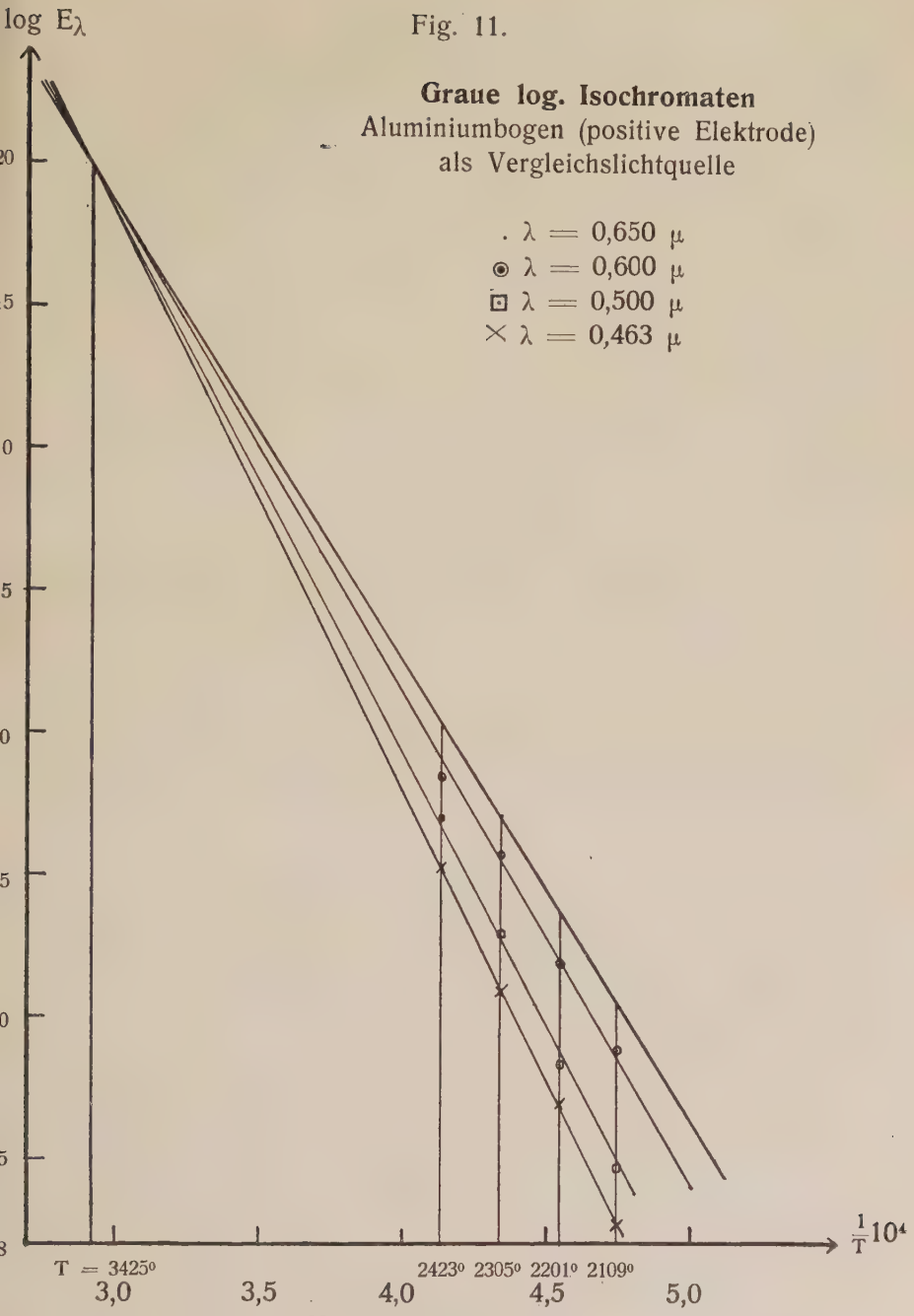
T	$\frac{1}{T} \cdot 10^4$	log E_λ			
		$\lambda = 0{,}650\ \mu$	$\lambda = 0{,}610\ \mu$	$\lambda = 0{,}490\ \mu$	$\lambda = 0{,}473\ \mu$
2404°	4,160	0,012	— 0,024	— 0,290	— 0,541
2317°	4,316	— 0,061	— 0,218	— 0,509	— 0,663
2237°	4,470	— 0,199	— 0,310	— 0,659	— 0,850
2133°	4,688	— 0,336	— 0,477	— 0,887	— 1,132
2077°	4,815	— 0,446	— 0,589	— 1,019	— 1,260

Das Resultat einer Temperaturbestimmung der positiven Bogenelektrode des Magnesiums gibt Tabelle 9 an. Die wahre absolute Temperatur beträgt etwa 3000°; ebenso heiss ist die negative Elektrode.

Zinkbogen.

Die Temperaturbestimmung ergibt an der positiven Elektrode des Zinkbogens nach Tabelle 10 und Figur 12 eine Temperatur von 2350° abs.; ebensoviel beträgt diejenige der negativen Elektrode.

Fig. 11.



Versuchsbedingungen:

Stromstärke: 9 Ampère
Spannung: 35 Volt
Bogenlänge: 0,4 cm

Positive Elektrode: d = 1,5 cm l = 5,5 cm
Negative Elektrode: d = 1,5 cm l = 5,5 cm

Tabelle 10.

T	$\frac{1}{T} \cdot 10^4$	log E_λ		
		$\lambda = 0{,}600\ \mu$	$\lambda = 0{,}575\ \mu$	$\lambda = 0{,}540\ \mu$
2410°	4,149	0,916	0,937	1,029
2290°	4,367	0,809	0,753	0,711
2198°	4,550	0,663	—	—
2057°	4,861	0,446	0,310	0,137
1941°	5,152	0,183	— 0,031	— 0,310

Die Siedepunkte dieser drei Metalle haben folgende Werte:

Aluminium	1800° C	*Greenwood* [1])
Magnesium	1120° C	*Greenwood* [1])
Zink	918° C	*Berthelot* [2])

Die an den Bogenelektroden gefundenen Temperaturen sind mehr als 1000° höher als die Siedepunkte der entsprechenden Metalle. Damit wird auch durch die Versuche erwiesen, dass die beobachteten hohen Temperaturen nicht den Metallen selbst, sondern notwendigerweise den Metalloxyden zuzuschreiben sind, zumal wenn man bedenkt, dass diese Oxyde, besonders Aluminium- und Magnesiumoxyd als feuerbeständige Stoffe schon lange bekannt sind.

Wenn es gelingt, diese Oxydbildung zu verhindern, so muss sich damit auch die Temperatur an den Elektroden ändern. Um dies womöglich experimentell zu entscheiden, wurde der Bogen dieser drei Metalle in einer Stickstoffatmosphäre bei normalem Druck gebrannt. Wenn auch zu befürchten war, dass Nitridbildung an den Elektroden eintreten könnte, so musste doch mindestens eine Aenderung der Temperatur stattfinden, da nicht anzunehmen ist, dass sich die Nitride genau gleich hoch erhitzen lassen wie die Oxyde.

[1]) **H. C. Greenwood,** l. c.
[2]) **D. Berthelot,** C. R. **134.** p. 705. 1902.

Metallbogen in Stickstoff bei Atmosphärendruck.

Bei diesen Versuchen brannte der Bogen in dem bereits von *W. Frey*[1]) beschriebenen, gusseisernen Kreuzrohr. Zuerst wurde das Rohr mit einer Wasserstrahlpumpe bis auf 10 mm evakuiert, dann mit Stickstoff gefüllt und wieder ausgepumpt. Schliesslich wurde gereinigter Stickstoff eingelassen, bis im Innern wieder Atmosphärendruck herrschte. Auf der einen Seite des Horizontalarmes war eine runde Glasscheibe in einer gusseisernen Fassung abnehmbar angebracht. Diese Scheibe ermöglichte es, mit einer Linse die zu untersuchende Bogenelektrode auf die Mattscheibe mit der Blende zu projicieren. Als Vergleichslichtquelle diente bei diesen Messungen immer die positive Elektrode.

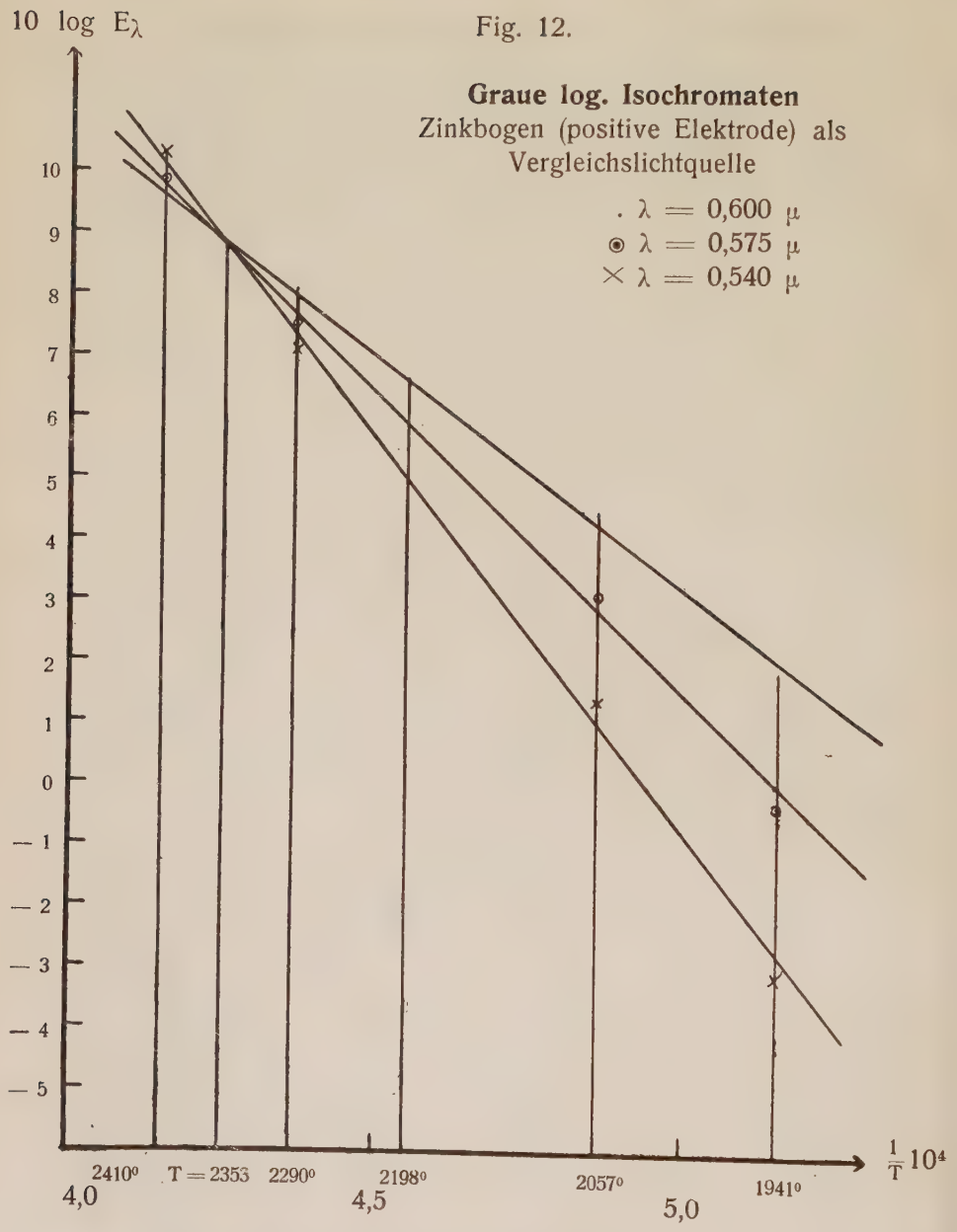
Das Arbeiten mit diesem Kreuzrohr war für meine Messungen äusserst umständlich. Kaum brannte der Bogen des Aluminiums, Magnesiums oder Zinks einige Zeit in Stickstoff, so fing die Glasscheibe an, sich innen mit einem Niederschlag zu beschlagen. Die Folge war, dass schon in kürzester Frist soviel Licht von der Scheibe absorbiert wurde, dass man ganz falsche Werte am Photometer erhalten musste. Gewöhnlich musste deshalb schon nach zwei Einstellungen die Fassung abgenommen, die Glasscheibe gereinigt, die Fassung wieder aufgesetzt, das Rohr evakuiert, und schliesslich von neuem mit gereinigtem Stickstoff gefüllt werden. Dies konnte etwa sechs bis acht mal wiederholt werden, bis die Messung zu Ende war.

Tabelle 11.

T	$\frac{1}{T} \cdot 10^4$	log E_λ		
		$\lambda = 0{,}650\ \mu$	$\lambda = 0{,}600\ \mu$	$\lambda = 0{,}500\ \mu$
2396°	4,174	0,281	0,326	0,398
2252°	4,441	0,073	0,079	0,064
2084°	4,798	— 0,221	— 0,271	— 0,323
1961°	5,100	— 0,477	— 0,582	— 0,711

[1]) **W. Frey**, Ann. d. Phys. **49**. p. 945. 1916.

Fig. 12.



Versuchsbedingungen:

Stromstärke: 1,7 Ampère.
Spannung: 60 Volt
Bogenlänge: 0,6 cm

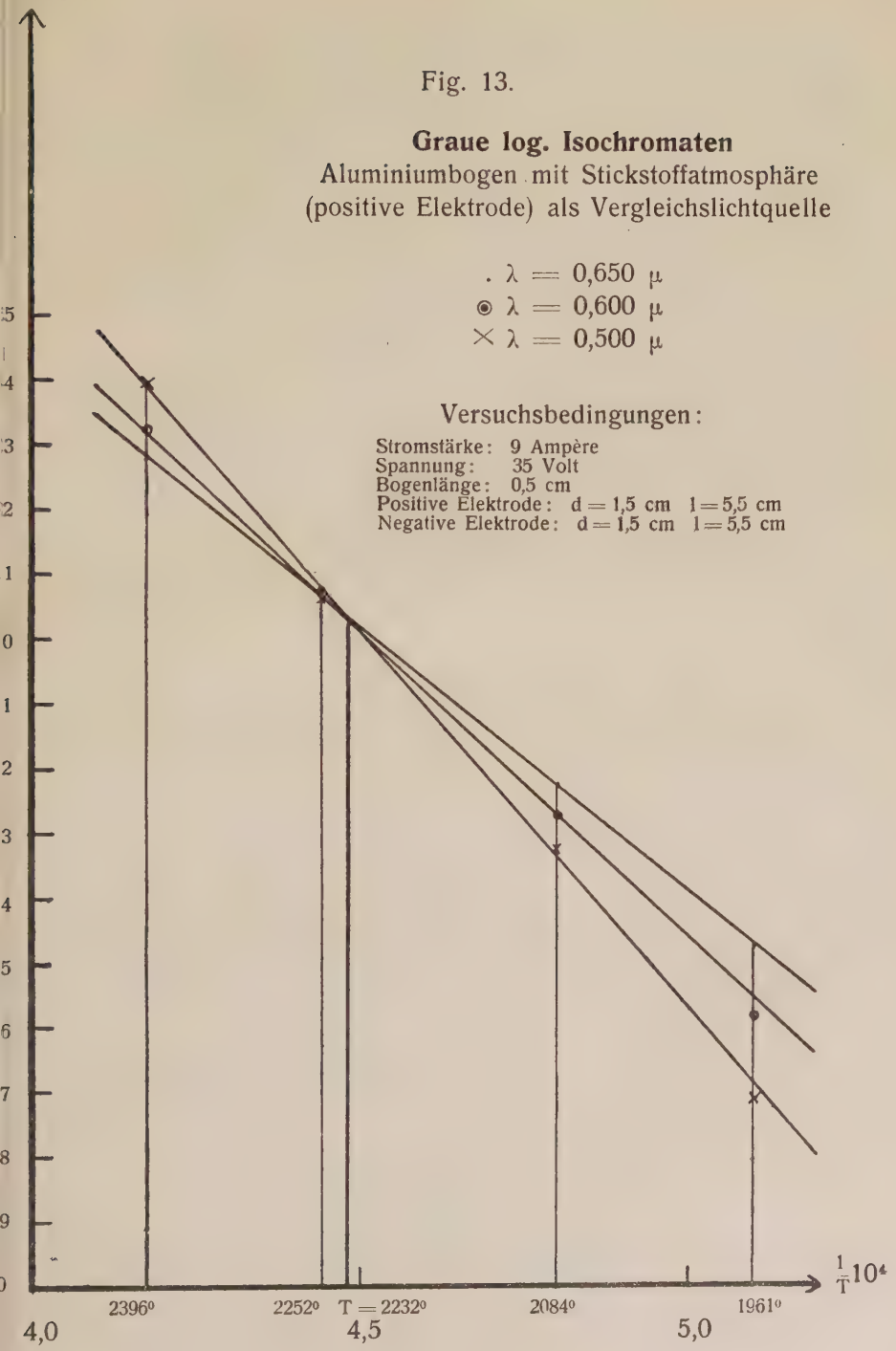
Positive Elektrode:
Negative Elektrode: d = 0,6 cm l = 6,5 cm

Fig. 13.

Graue log. Isochromaten
Aluminiumbogen mit Stickstoffatmosphäre
(positive Elektrode) als Vergleichslichtquelle

. $\lambda = 0{,}650\ \mu$
⊙ $\lambda = 0{,}600\ \mu$
× $\lambda = 0{,}500\ \mu$

Versuchsbedingungen:
Stromstärke: 9 Ampère
Spannung: 35 Volt
Bogenlänge: 0,5 cm
Positive Elektrode: d = 1,5 cm l = 5,5 cm
Negative Elektrode: d = 1,5 cm l = 5,5 cm



Für Aluminium ist die Messung in Stickstoff in Tabelle 11 und Figur 13 wiedergegeben. Die Temperatur der positiven Elektrode ist beträchtlich gesunken; sie beträgt noch 2230° abs. und nähert sich dem Siedepunkt des Aluminiums von 2070° abs. Die Elektroden sind mit einer flaumigen, grauweissen Substanz leicht bedeckt.

Im Zinkbogen ist die Temperatur der Anode so weit gefallen, dass die Helligkeit nicht mehr zum Photometrieren genügt. Sieht man das projicierte Bild an, so erkennt man noch ein schwaches Glühen der Elektroden, die grauschwarz überzogen sind.

Am Magnesiumbogen war es nicht möglich eine ganze Messung zu erhalten. Der Bogen brennt sehr unruhig und das Glas beschlägt sich fast momentan sehr dicht. An den Elektroden haftet schmutziggelbes Magnesiumnitrid. Soweit ich aus einzelnen abgelesenen Werten urteilen kann, ist jetzt die Temperatur der positiven Elektrode ungefähr ebenso hoch wie beim Brennen in Luft.

Am Kupfer-, Eisen- und Nickelbogen in Stickstoff wurden die gleichen Resultate erhalten wie in Luft.

Zusammenfassung.

Zusammenfassend möchte ich als Resultate dieser Arbeit bezeichnen:

1. Zum ersten Male sind Temperaturbestimmungen an positiver und negativer Elektrode einer Anzahl Metallbogen in Luft und Stickstoff bei Atmosphärendruck angestellt worden.
2. Die Temperatur der positiven Elektrode im Silber-, Kupfer-, Eisen- und Nickelbogen ist von der Stromstärke abhängig. Diese Abhängigkeit ist im wesentlichen durch das Wärmeleitvermögen der betreffenden Metalle bedingt. Der Bogen brennt, wie auch bei Wolfram direkt am Metall.
3. Die Temperatur der positiven Elektrode der genannten Metallbogen erreicht mit steigernder Stromstärke einen Maximalwert. Dieser Wert beträgt bei

Kupfer:	2430°—2450°	abs.
Eisen:	2585°—2605°	„
Nickel:	2430°—2450°	„
Wolfram:	$\leqq$ 4150°—4250°	„

Es ist wahrscheinlich, dass dieser Wert mit der Siedetemperatur des betreffenden Metalls übereinstimmt. Unter gleichen Bedingungen ist die Temperatur der negativen Elektrode immer niedriger.

4. Beim Bogen der Metalle Aluminium, Magnesium und Zink erhitzt sich das an den Elektroden gebildete Oxyd weit über den Siedepunkt des Metalles. Die Temperatur beträgt unter den angegebenen Versuchsbedingungen bei

   Aluminium: ca. 3400° abs.
   Magnesium: ca. 3000° „
   Zink: 2350° „

   Die Elektrodentemperatur nimmt im allgemeinen ab, wenn man die Oxydbildung verhindert.

Vita.

Ich, *Karl Langbein,* wurde am 30. Mai 1893 in Basel geboren, als Sohn des Karl Langbein, Kaufmann von Basel und dessen Gattin Maria Theresia geb. Kaiser. Schon im Jahre 1906 wurde mir der Vater durch den Tod entrissen.

Nach dem Besuch der hiesigen Primarschule trat ich in das Gymnasium über und erhielt von der obern Abteilung dieser Anstalt im Frühjahr 1912 das Maturitätszeugnis.

An der Universität Basel widmete ich mich dem Studium der Mathematik, Physik und Chemie; auch besuchte ich Vorlesungen und Uebungen pädagogischen Inhalts. Im Juli 1914 bestand ich in den drei genannten Fächern das Mittellehrerexamen.

Durch den mit Kriegsausbruch einsetzenden Militärdienst verlor ich insgesamt zwei Jahre an eigentlicher Studienzeit. Vom Neujahr bis April 1916 war ich als Vikar an einer Mittelschule tätig.

Im Laufe des Sommersemesters 1916 begann ich auf Anregung und unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. *A. Hagenbach* vorliegende Dissertation, die ich mit Beginn des Sommersemesters 1918 abschloss.

Während meiner Studienzeit besuchte ich Vorlesungen und Uebungen bei folgenden Professoren: *Bernoulli, Bieberbach, Fichter, Fueter, Hagenbach, Hecke, Heman, Matthies, Rupe, Spiess, Veillon, Zickendraht* und den Dozenten: *Flatt, Häberlin* und Oberst *Egli.*

Es sei mir an dieser Stelle gestattet, allen meinen hochverehrten Lehrern zu danken; insbesondere möchte ich Herrn Prof. Dr. *A. Hagenbach,* der meinen Studien immer ein reges Interesse entgegenbrachte, für die guten Ratschläge und Belehrungen, die ich besonders während der Ausarbeitung der Dissertation erfahren durfte, meinen aufrichtigen und bleibenden Dank aussprechen.